



CHALMERS



Risikanalyt för jernvægstransporter

En undersökning om förbättringsmöjlighet för tungkontrollkontakt och lastobalans med riskanalys som grund

Kandidatarbete inom maskinteknik
Nr. 2018:25

David Andersson | Frida Carlvik | Filip Kronvall-Bjelkengren | Oskar Vamling

KANDIDATARBETE MMSX20-18-27
RAPPORTNUMMER 2018:25

Riskanalys för järnvägstransporter

En undersökning om förbättringsmöjlighet för tungkontrollkontakt och lastobalans med riskanalys som grund

DAVID ANDERSSON
FRIDA CARLVIK
FILIP KRONVALL BJELKENGREN
OSKAR VAMLING



CHALMERS

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper
MMSX20

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Gothenburg, Sweden 2018

Bilden på framsidan är licenserad genom CC0 – Creative Commons.

Abstract

Transportation by train is one of the safest and most environmentally friendly ways to travel and ship goods. The amount of transportation by road is developing faster than by railway in the EU. This is especially true when regarding hauled goods. The reasoning behind transportation choices is nuanced, but it can partly be explained by the uncertainties concerning long leadtimes and delays. Railroad delays can arise from many faults, where two important and unexplored areas of improvement are assessed in this report. The areas of interest are TKK, a Swedish component in railroad switch controls, and the effects of skew loading. This report analyses the TKK component and the skew loading for the purpose of possibly avoiding unnecessary delays and incidents. The report strives to provide suggestions that can improve the use of TKKs and the limits for the warning signals related to skew loading.

Large amounts of data have been processed in each respective area. The aim has been to find patterns in skew loading and TKK alarm signals. To give a more qualitative assessment, reports have been analysed. One result that is shared for both TKK and skew loading is that the alarm signals that arise due to regulations imply a large socio-economic cost. Results from data evaluation on the rail switches show that a few critical scenarios occur each year where accidents could develop if not for TKKs. The results underly two distinct arguments for future recommendations. The discussion focuses heavily on determining the value of possibly increasing risk for the benefit of minimized socio-economic cost.

The scope of the research is evaluated. The method used was analyzing previous measurements of load imbalance and signals regarding TKKs. The evaluated data is not completely representative for future risks. However, this method of predicting risk is very common for risk analysis today. Furthermore the discussion includes ethical standpoints, as the subject of human safety is considered.

Examples of developing the report is simulations of new switch monitoring systems, psychology of risk, comparison with other countries and gathering of larger data scopes. These subjects are presented in the discussion.

Keywords: tungkontrollkontakt, TKK, spårväxlar, lastobalans, axlar, riskanalys, järnvägstrafik, Trafikverket

Sammanfattning

Tågtransporter är ett ekonomiskt och miljövänligt alternativ för att utföra transporter av gods och passagerare. För att tågtransporter ska bevara eller öka sin attraktion krävs en tillförlitlighet i säkerhet, leveranstider och kostnader. Det finns mängder med olika fel som kan inträffa på järnvägen. I rapporten kommer två av vanliga förseningsorsaker behandlas; Tungkontrollkontakt (TKK) och lastobalanser. Med riskanalys som utgångspunkt undersöktes de två problemen för att finna förbättringspotential. Därefter lämnas en rekommendation på hur problemen bör bemötas och hanteras.

Teori för riskanalys har tolkats utifrån svenska myndigheter och baseras på matematiska analysmodeller. Nuvarande metoder för riskanalys och riskhantering inom järnvägen har undersökts och eventuella svårigheter i att genomföra en riskanalys för de valda ämnen har beskrivits.

Stora datamängder från Trafikverket har sammanställts och analyserats med hjälp av Matlab och Excel. Hållfasthetsanalyser på växelspår har genomförts för att se hur mycket växeldriven kan deformera rälen och för att undersöka om TKK är nödvändig. Lastobalanser kontrolleras för två utvalda mätstationer i Sverige med syftet att finna ett matematiskt samband mellan antalet tåg och lastobalanser. Resultatet ställs sedan emot österrikiska värden för att kontrollera pålitlighet och förbättringsmöjligheter.

Undersökningarna visar att TKK:n är väldigt säker, men att den inte är tillförlitlig. Endast 1,5% av de fall då TKK:n larmade var korrekta då ett främmande föremål faktiskt förhindrade en säker tågpassage. De resterande 98,5% av larmen berodde på ogiltiga orsaker, oftast då det var ett fel på TKK-enheten. Enbart förseningskostnaderna beroende på TKK beräknades till cirka 34,5 MSEK per år. Hållfasthetsanalyser visade att de växeldriv som används i dagsläget har kraften att böja rälen tillräckligt för att öka risken för urspårning markant. Beräkningarna visar även på att om föremål ligger i kläm kan ändå rälen få kontakt vid båda växeldriven och därmed hade föremålet inte upptäckts utan TKK. Slutsatsen är att ett kontrollsystem behövs.

Resultaten för lastobalanser visade att larmen för lastobalanser innebär betydande socioekonomiska kostnader. Jämförelsevis har inga olyckor under samma år uppmätts där lastobalans kunnat påvisas vara orsaken. Den ekonomiska följden av att höja eller sänka gränsen för lastobalans räknades ut. Däremot är det rapportens uppfattning att den psykologiska effekten av sänkta krav kommer påverka hur man väljer att lasta vagnar.

Rekommendationer från undersökningarna är att TKK:n bör bytas ut mot ett mer driftsäkert system, eftersom det förekommer främmande föremål i växlar flertalet gånger per år. Det innebär att funktionen som TKK fyller inte kan tas bort helt. Vad som lämpar sig att byta till är ett område för vidare studier. För lastobalanserna rekommenderas djupare studier, det som med stor säkerhet kan sägas är att dagens gränser inte skall höjas eftersom de ekonomiska vinsterna blir små i relation till den ökade olycksrisken.

Erkännanden

Rapporten hade inte varit möjlig att genomföra utan Björn Paulsson, hans expertis och kontakter har visat sig vara ovärderliga under arbetets gång. Vidare vill vi även tacka Arne Nissen och Kalle Karttunen från Trafikverket som försett oss med data och hjälpt oss tolka den. Även ett stort tack till Elena Kabo som har försett oss med viktig information och vägledning. Sist men inte minst vill vi tacka vår handledare Anders Ekberg som under arbetets gång kommit med god kritik och entusiastiskt styrt oss i rätt riktning.

Göteborg, maj 2018

Innehåll

Figurer	ix
Tabeller	xi
Använda förkortningar	xiii
Förtydningar	xv
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Problemformulering	1
1.2.1 TKK	2
1.2.2 Lastobalanser	2
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Syfte	3
1.5 Etiska aspekter	3
1.6 Rapportens struktur och organisering	3
2 Riskanalys - Teori och tillämpning	5
2.1 Metoder för tillämpning av riskanalys	5
2.1.1 Inventering	5
2.1.2 Analys	6
2.1.3 Uppföljning	8
2.2 Nulägesanalys	8
2.2.1 Krav på riskanalys i järnvägstrafik	9
2.3 Metod för analys av TKK och lastobalans med hjälp av riskanalys	9
3 TKK - Tungkontrollkontakt	11
3.1 Teori	11
3.1.1 Komponentbeskrivning	12
3.1.2 Underhåll och åtgärder	13
3.2 Nulägesanalys TKK	13
3.2.1 Jämförelse med andra länder	13
3.2.2 Risk för urspårning på grund av spårviddsminskning i spårväxel	14
3.2.3 Del av växeltungan som kontrolleras av TKK	14
3.3 Genomförande	15
3.3.1 Behandling och sammanställning av data	15
3.3.2 Hållfasthetsanalys	16
3.3.3 Kostnadsanalys	17
4 Lastobalans	21
4.1 Teori	21
4.1.1 Lasttyper	22
4.1.2 Riktlinjer och gränsvärden för lastning	22

4.2	Nulägesanalys lastobalanser	23
4.2.1	Sammanställning av snedlaster i Sverige 2016	24
4.2.2	Förstudie	24
4.3	Genomförande	25
4.4	Fallstudie	26
5	Resultat	27
5.1	TKK	27
5.1.1	Hållfasthetsanalys	27
5.1.2	Robusthetsanalys	28
5.1.3	Försenade tåg på grund av TKK-fel under 2017	29
5.1.4	Kostnadsanalys	29
5.2	Lastobalans	31
5.2.1	Analys av larmgränsers inverkan	33
5.2.2	Jämförelse mot Österrikiska mätvärden	34
6	Diskussion	35
6.1	Hur kan riskanalys användas på TKK och Lastobalanser	35
6.1.1	Riskanalys inför beslutsfattande	35
6.1.2	Viktiga parametrar inom riskanalys	35
6.2	TKK	36
6.2.1	Visar datan att TKKn behövs?	36
6.3	Lastobalanser	40
6.3.1	Ekonomiska faktorer	40
6.3.2	Jämförelse med Österrikes mätvärden	40
6.3.3	Samhällsfaktorer	41
6.3.4	Förenklingar och antaganden i genomförandet	41
6.3.5	Kan riskanalysen för lastobalanser systematiseras?	41
7	Rekommendationer	43
7.1	TKK	43
7.2	Lastobalanser	43
A	Sammanställning signaler för lastobalanser	I
B	Sammanställning signaler för lastobalanser i Bodsjön	III
C	Sammanställning signaler för lastobalanser i Koler	V
D	Lista över främmande föremål i spårväxlar 2017	VII
E	Karta över Trafikverkets detektorer i Sverige	IX
F	Matlab kod för att analysera böjning av växeltunga	XI
G	Matlab kod för att tolka, plotta och sortera lastobalanserna för mätstationer i Bodsjön och Koler	XIII

Figurer

2.1	Risikkurva, där tillhörande trappstegsfunktion är inritad. x-axeln motsvarar konsekvensens magnitud, y-axeln motsvarar riskens frekvens (Kaplan och Garrick, 1981)	6
2.2	Riskmatris hämtad från (Davidsson, 2003). Magnituden av händelsen delas upp i risk för skada relaterad till hälsa, miljö och egendom. Sannolikheten delas in i områden utifrån den uppskattade frekvensen för risken	7
3.1	En spårväxel med växeltungorna markerade i rött och TKK i orange. (Trafikverket, 2018c)	11
3.2	Växel med två växeldriv markerade i blått (Trafikverket, 2018c)	12
3.3	Magnetdel (överst) och ett elektroniskt kontaktdon (nederst) samt deras placering relativt varandra (Meyer, 2015).	13
3.4	Elementarfall fast inspänd balk	16
3.5	Rälsprofil i växeln (TCRP, 2012)	16
4.1	Flänsklättring vid nominell respektive sliten rälsprofil (Afterbrunel, 2013)	22
4.2	Urspårningsstatistik för europeiska länder under 2016 (Eurostat, 2016)	24
4.3	Larm under 2016 mellan höger och vänster hjul på en axel (Isaksson, 2017)	25
5.1	Kraft för att deformera rälen 15mm i sidled	27
5.2	Orsaker bidragande till signalfel beroende på TKK under 2017 (Trafikverket, 2017)	28
5.3	Andel axlar (%) med lastobalans (ϕ_{lat}) gällande mätstationerna Bodsjön och Koler	32
5.4	Lastförhållandet för Österrike (Paulsson, 2018)	34
6.1	Riskmatris där den blå kurvan motsvarar förseningar till följd av ogiltiga signaler från TKK. De röda siffrorna motsvarar olyckor till följd av att främmande föremål inte upptäckts. Matrisen är ritad av författarna och utgår från teori från Davidsson, 2003.	38
A.1	Sammanställning av mätvärden för alla mätstationer, numrering för graferna är ett till nio från vänster till höger. Graferna är i liggande format.	II
B.1	Sammanställning av Bodsjöns mätvärden, numrering för graferna är ett till nio från vänster till höger. Graferna är i liggande format	IV
C.1	Sammanställning av Kolars mätvärden, numrering för graferna är ett till nio från vänster till höger. Graferna är i liggande format.	VI
D.1	Alla främmande föremål i växlar under 2017 (Trafikverket, 2017)	VII
E.1	Trafikverkets detektorer och dess placeringar i Sverige (Trafikverket, 2015b).	IX

Tabeller

3.1	Andel av växeltungas längd som kontrolleras av TKK (Höjsgaard, 2006) .	15
3.2	Resenärsfördelning (Ahlberg, 2015)	17
3.3	Åktidsbesparing (Ahlberg, 2015)	18
3.4	Andel av urspårningar och genomsnittlig kostnad för dem (Vasic, 2012) .	18
5.1	Antal försenade tåg & total förseningstid per tågtyp	29
5.2	Kostnader för förseningar TKK-fel 2017	29
5.3	Kostnader per år för urspårningar på grund av att TKK plockas bort . . .	30
5.4	Andel larmande axlar (%) för olika larmgrännivåer gällande Bodsjön och Koler	33

Använda förkortningar

Förkortningslista	
Fullständig beteckning	Förkortning
Tungkontrollkontakt	TKK
Största tillåtna hastighet	STH
Myndigheten för samhälls- skydd och beredskap	MSB
Internationella järnvägsunio- nen	UIC
Elektrisk TKK	eTKK
Mekanisk TKK	mTKK
<i>Automatic train control</i>	ATC
<i>Intermittent automatic train- running control</i>	PZB
Största tillåtna axellast	STAX
Tekniska specifikationer för driftskompatibilitet	TSD
<i>Common safety methods for risk assessment</i>	CSM-RA

Förtydligande

Förtydlingslista	
Begrepp	Förklaring
Växeltunga	Rörlig del i växeln; rälen som flyttar sig när växeln läggs om.
Stödräl	Den fasta delen av växeln som växeltungan sluter mot.
Urspåring	När ett eller flera av hjulen på tåget lämnar rälsen.
Flänsklättring	När ett hjul klättrar upp på sidan av räls huvudet. Detta kan leda till urspåring.
Rälsförhöjning	Lutande spår i sidled för att det skall kunna gå att köra med högre hastigheter genom kurvor.
Boggi	Del av underredet på tåg som axlarna fästs i, är ofta delvis vridbara och fjädrade. Vanligast är två- och treaxliga boggier.
Sliper	Trä- eller betongbalk som binder samman rälna och fördelar lasten över underlaget.
Ballast	Grus eller makadam som utgör det översta bärlagret i ett spår.
Tjänstetåg	Passagerartåg som kör utan last, t.ex. för att positionera tåg och personal på rätt ställe.
Signalfel	Att en stoppsignal visas på signalbilden, trots att den borde visa kör. Kan uppstå av flera olika orsaker.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Idag ansvarar Trafikverket för den övergripande säkerheten på Sveriges järnväg och infrastruktur. Trafikverket bär därmed ett stort ansvar mot allmänheten. Säker drift av järnvägstrafiken, hantering av skattemedel och tillgängligheten av järnvägstransporter, är ansvar som åligger Trafikverket. Trafikverkets uppgift är således att hantera och analysera kvalitet, ekonomi och tid för att uppnå bästa möjliga resultat (Höjsgaard, 2006).

2014 utförde svensk järnväg transport för nästan 33 miljoner personkilometer dagligen (Brandström och Stridsberg, 2016). Järnvägstransporter utgör även 11% av alla gods-transporter i Sverige räknat i vikt (Trafikanalys, 2016) och är redan väletablerade i dagens samhälle. Etableringen beror bland annat på den höga säkerheten, den låga mängden farliga utsläpp och energianvändningen. Det här gör järnvägen till en viktig del i samhället. I enlighet med mål i Sverige och inom EU måste järnvägen ständigt underhållas och förbättras för att fortsatt öka sin attraktivitet inom transportsektorn. En del i förbättringen är riskanalyser. Riskanalyser ska ge ett grundligt stöd för att finna och påvisa orsaker till olyckor och hur omfattande de olika riskerna är. Riskanalyser kan användas för att väga olika intressen som ekonomi, miljö, personlig säkerhet och driftssäkerhet mot varandra.

Eftersom järnvägen är komplex finns det många komponenter som kan orsaka en förhöjd olycksrisk. Två områden som är av särskilt intresse är växlar och lastbalanser. Växlar i Sverige är idag ofta försedda med en nästan unik kontrollanordning, TKK, vilken årligen innebär kostnader i form av förseningar och underhåll. De är dock installerade i syfte att minska risken för tillbud och olyckor. Lastbalanser innebär en höjd risk för flänsklättring och därmed urspårning. Lastbalanser är i dagsläget relativt lite studerade. Det råder även oenighet mellan Sverige och andra EU-länder vad maximal lastobalans kan vara för att en acceptabel risknivå för urspårning ska uppfyllas.

1.2 Problemformulering

Transporter på järnväg står för en stor andel av Sveriges gods- och persontransporter. Mål har formulerats från staten, EU och internationella järnvägsorganisationer, med ett gemensamt mål att öka andelen godstransporter. För att nå målet med ökade transporter finns det en del områden i behov av förbättring, vilka är direkt kopplade till säkerhet och ekonomiska kostnader. För att förutsäga och effektivt förhindra problem och olyckor används ofta riskanalyser.

Två problemområden identifierades för detta projekt, lastbalanser och tungkontrollkontakter (TKK). Gemensamt för lastbalanser och TKK är att båda kontrollsystemen för dessa innebär stora förseningar och att komponenternas och regleringarnas inverkan på säkerheten är diskuterad.

1.2.1 TKK

I en studie genomförd 2006 (*eTKK06011.14*) formulerades fyra frågeställningar för att besvara om TKK:n behövs (Höjsgaard, 2006). Frågeställningarna lyder:

- När finns risk för urspårning om det uppkommer en spårviddsminskning i en spårväxel?
- Hur stor del av växeltungan kontrolleras av TKK och hur stor del kontrolleras av kontrollfunktionen i växeldrivet?
- Hur ofta kan en farlig situation inträffa?
- Visar erfarenheten att TKK:n behövs?

För att kontrollera om resultaten från studien (Höjsgaard, 2006) fortfarande är relevant, kommer ovanstående frågor att behandlas utifrån den senaste tillgängliga informationen. Svaren kommer vara underlag till en diskussion om TKK:n ska bevaras eller om den kan avlägsnas.

1.2.2 Lastobalanser

Forskningsprojektet D-Rail identifierade de åtta vanligaste orsaker till urspårning inom EU, lastobalanser är en utav dessa (Franklin m. fl., 2011). Skev lastning kan ge upphov till ojämn belastning av hjulen, ojämna ryckningar och vibrationer under transporten och i förlängningen en mindre säker transport. UIC anger riktlinjer för lastning, och i Sverige finns gränser för lastobalans i drift vilka orsakar larmsignaler och stopp. I andra länder skiljer sig gränserna för lastobalans under transport, och även olycksstatistiken varierar. Det är därför intressant att undersöka samband mellan lastobalans, stoppade tåg och säkerhet.

1.3 Avgränsningar

Analysen är i första hand framställd för hantering av järnvägstransporter i Sverige. Information och data är till stor del hämtad från Trafikverket, vilket ger en naturlig inriktning mot den svenska järnvägen. Lösningar med TKK används nästan exklusivt i Sverige, vilket gör att andra länders data är mindre intressant. Den största delen av den data som beaktats i denna studie har svenskt ursprung. De två områden som är i fokus, TKK och lastobalans, kommer dock att jämföras med lösningar och krav som finns utomlands. Syftet är att ge stöd och argument för analysen av den svenska järnvägen för att stödja en mer nyanserad diskussion.

Riskhantering innebär att sätta mål för vilka risker som ska minskas. Det kan vara stora kostnader, framkomlighet eller människofara. Andra sociala aspekter som kultur och miljö är också intressanta. Många riskaspekter är däremot svåra att tolka eftersom till exempel värdet på en kulturmärkt byggnad är svårt att tolka i termer av vanliga riskanalysvariabler. På grund av det kommer rapporten till stor del ta hänsyn till ekonomiska faktorer, som evalueras mot främst säkerhet.

Risker och olyckor relaterade till mänskliga faktorer kommer inte att beaktas då de är svårtolkade faktorer. Det innefattar alla olyckor där människan är den direkt påverkande faktorn, till exempel plankorsningsolyckor och operatörsfel. Olyckor i spårväxlar, i synnerhet TKK, och lastobalans orsakas sällan av direkta operatörsfel. De är också av stor betydelse för säkerheten på järnvägen. Vidare finns även stort utrymme för förbättringar eftersom det i nuläget saknas god systematik och det råder oenighet, både inom Sverige och utomlands, på vilka krav som behövs för acceptabel risknivå.

1.4 Syfte

Syftet med studien är att analysera tidigare mätningar för att kontrollera dagens säkerhetsnivåer för lastobalanser och spårväxlar utrustade med TKK:er. En kontroll behöver genomföras av järnvägens säkerhetsnivå för att granska om den är relevant eller om den behöver uppdateras. Resultatet från analysen ligger sedan som underlag för diskussion och eventuella förslag till förbättringar. Analysen strävar efter en tydlig koppling till riskanalys, där systematik, ekonomi och säkerhet ligger i fokus.

1.5 Etiska aspekter

Järnvägen är en viktig funktion i samhället där de etiska aspekterna är viktiga. I riskanalys vägs flera olika risker mot varandra, där konsekvenserna kan utgöra skada av människa, ekonomi eller miljö. Det är därmed ett etiskt ställningstagande som krävs vid prioriteringen av förslag. Därför kommer prioriteringar som har gjorts av tidigare källor diskuteras och etiska aspekter för slutsatser som skapas i rapporten värderas.

1.6 Rapportens struktur och organisering

Rapporten behandlar två fenomen som har inverkan på säkerheten på järnvägen. För att hantera de två skilda ämnena är rapporten uppdelat i avsnitt som i varsitt kapitel behandlar teori, metod och genomförande för dessa två områden. Rapporten inleds med en översikt av teori inom riskanalys och en nulägesanalys om hur riskanalys används inom järnvägen. Sedan hanteras ämnena TKK och lastobalans. De studerade ämnena kommer därefter att sammanvävas till viss del i resultat och diskussion.

2 Riskanalys - Teori och tillämpning

Syftet med en riskanalys beskrivs av Räddningsverket (Davidsson, 2003) som att ”*belysa var och hur olyckor, tillbud och störningar kan inträffa, hur ofta detta kan tänkas ske och vilka konsekvenser som kan uppstå.*” Risk kan definieras som en osäkerhet och en konsekvens. Definitionen härstammar ifrån att det finns en osäkerhet i hur ett händelseförlopp kommer att utvecklas, där ett antal möjliga förlopp innebär skada. Nedan beskrivs riskanalys utifrån teori om risk och sannolikhet.

Riskanalys beskrivs på liknande sätt som Räddningsverket i en rapport av Stanley Kaplan och B. John Garrick med tre frågor (1981). Frågorna används för att beskriva förloppet av en händelse genom att definiera de olika stadierna. Utifrån ett scenario besvaras frågor om vad som kan hända för att uppdaga eventuella risker. För varje tänkt händelse görs en skattning på hur stor sannolikheten är att händelsen skall äga rum. Till sist uppskattas vad följderna kan bli för händelsen.

Riskanalys ger underlag för att minska frekvensen med vilken risker uppstår och för att minska konsekvenserna. Säkerhetsfaktorer används i arbetet att minska risker. Risk kvantifieras enligt ekvation (2.1) (Kaplan och Garrick, 1981).

$$\text{Risk} = \frac{\text{Fara}}{\text{Säkerhetsåtgärder}} \quad (2.1)$$

Per definition kan en risk aldrig bli noll, då fara alltid kommer att existera. Det är istället av intresse att utvärdera vilken storlek på risken som kan accepteras.

2.1 Metoder för tillämpning av riskanalys

Handboken för riskanalys (Davidsson, 2003) ämnar ge underlag och föreslå metodik till beslutsfattare, risk-, nytto- och kostnadstagare inom riskanalys och riskhantering. Riskanalys beskrivs som en systematisk metod för att identifiera olycksrisk och bedöma magnituden av risken. Metoder för riskanalys delas in i tre delar: riskinventering, riskanalys och uppföljning. Analysens omfång och ämne står till grund för val av metod. Räddningsverket förklarar grundligt metodval i sin handbok. Metoden styrs av flera faktorer som till exempel var i riskhanteringsprocessen man befinner sig, tillgång till resurser samt syfte med analysen.

2.1.1 Inventering

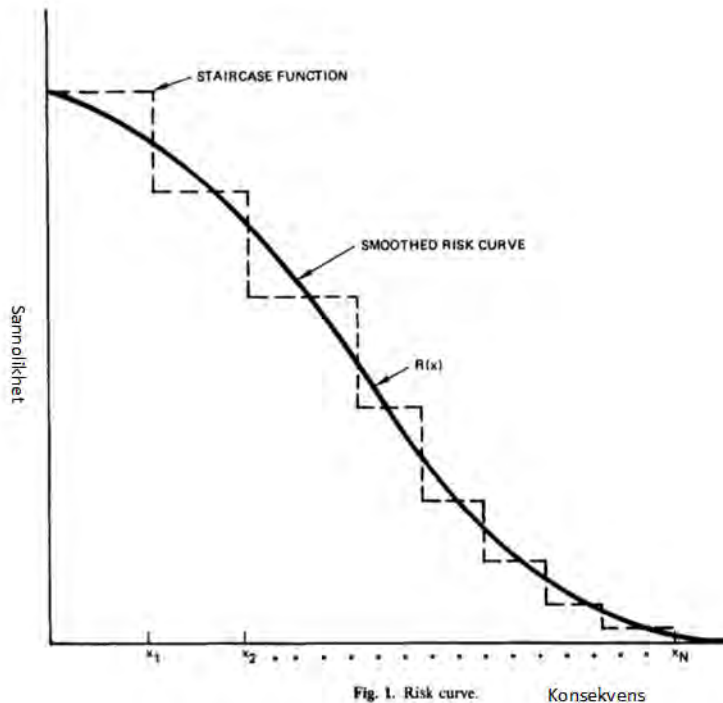
En inventering lägger grund för vilka objekt som analyseras i riskanalysen. Riskinventering innefattar ett moment som innebär att de objekt som har ett särskilt värde (skyddsobjekt) inventeras. De kan vara av stort ekonomisk eller kulturellt värde, eller vara av vikt för samhällsfunktioner och personer. Inventering innebär en avgränsning, eftersom det sätter en gräns för vilka objekt som studeras.

Indelning i kategorier underlättar inventering och avgränsning. Räddningverkets handbok för riskanalys (Davidsson, 2003) exemplifierar tre risktyper utifrån typen av risk eller graden av slumpmässighet. Slumpmässighet ligger till grund för osäkerheten i en riskanalys. I fallet med olyckor i spårväxlar är slumpmässigheten hög, då det till stor del handlar om okända föremål som hamnar mellan växelns delar. För lastobalanser är själva lastningen kontrollerbar, medan andra faktorer på järnvägen, som spårgeometri och friktion mellan hjul och räl är varierande.

2.1.2 Analys

Riskanalys görs med hjälp av att systematiskt identifiera risker och deras risknivåer. Enligt Räddningsverket (Davidsson, 2003), bör de innehålla beräkningar eller uppskattningar av sannolikhet eller frekvens och konsekvens. Osäkerheten bör belysas och undersökas.

Ett sätt att tolka resultaten från en riskanalys beskrivs av Kaplan och Garrick (1981). Genom att ordna alla de undersökta konsekvenserna utifrån magnituden av konsekvensen fås en lista av händelser med viss sannolikhet och en viss konsekvens. Därefter kan sannolikheten för varje händelse summeras från x_1 till x_N . Genom att sammanställa varje konsekvens och den sammanlagda sannolikheten fås en diskret trappstegsfunktion. Trappstegsfunktionen kan generaliseras till en kontinuerlig funktion genom antagandet av att varje händelse är en grupp av företeelser och konsekvenser som följer samma form på trappstegsfunktionen. Den resulterande riskkurvan illustreras i figur 2.1:



Figur 2.1: Riskkurva, där tillhörande trappstegsfunktion är inritad. x-axeln motsvarar konsekvensens magnitud, y-axeln motsvarar riskens frekvens (Kaplan och Garrick, 1981)

Riskkurvan är en teoretisk modell som visar hur riskens sannolikhet svarar mot riskmag-

nituden för den studerade händelsen. Ett annat sätt att ordna risker är genom en riskmatris. En riskmatris är en modell som låter olika händelser viktas utifrån sannolikhet och magnitud. Den horisontella axeln svarar mot magnituden på risken, och den vertikala svarar mot frekvensen. Hur magnituden viktas för en typ av tillbud (hälsa, miljö, egendom) är av stor vikt för att kunna jämföra händelser. Genom att markera inträffade händelser (i efterhand) eller tänkta händelser (förebyggande) kan en regressionsanalys genomföras.

Sannolikhet ↑		> 1 gång per år					
		1 gång per 1-10 år					
		1 gång per 10-100 år					
		1 gång per 100-1000 år					
		< 1 gång per 1000 år					
Hälsa	Övergående lindriga obehag	Enstaka skadade, varaktiga obehag	Enstaka svårt skadade, svåra obehag	Enstaka döda och flera svårt skadade	Flera döda och tiotals svårt skadade		
Miljö	Ingen sanering, liten utbredning	Enkel sanering, liten utbredning	Enkel sanering, stor utbredning	Svår sanering, liten utbredning	Svår sanering, stor utbredning		
Egendom	< 0,1 milj kr	0,1-1 milj kr	1-5 milj kr	5-20 milj kr	>20 milj kr		

Figur 2.2: Riskmatris hämtad från (Davidsson, 2003). Magnituden av händelsen delas upp i risk för skada relaterad till hälsa, miljö och egendom. Sannolikheten delas in i områden utifrån den uppskattade frekvensen för risken

En riskmatris använder samma axlar som en riskkurva. Det framgår att båda metoder är likartade och går att använda tillsammans. En risk med låg sannolikhet eller lindrig konsekvens är eftersträvansvärt jämfört med stor sannolikhet och allvarlig konsekvens.

Att bestämma krav på risknivån innebär att antagandet måste göras att risker är linjärt jämförbara. Detta förklaras av Kaplan och Garrick (1981). Däremot förloras information om risken. Att jämföra kostnaden för olika risker nämns som en möjlighet. Framförallt finns fler konsekvenser än just kostnad. En riskanalys ska därför göras med tydlig koppling till vilka typer av risk som försöker minimeras.

Riskmätningmetoder är de sätt på vilka risker bedöms. Metoderna utgörs enligt Räddningsverket (Davidsson, 2003) av empiriska skattningar, logiska system och expertbedömningar. Empiriska skattningar utgår ifrån tidigare inträffade händelser, logiska system utgår ifrån en analysmodell och expertbedömningar innebär att subjektiva skattningar görs av insatta experter.

2.1.3 Uppföljning

Syftet med en uppföljning är att föreslå åtgärder och planera hur de ska implementeras. Ett viktigt koncept inom uppföljning och förebyggande åtgärder är säkerhetsmål. Säkerhetsmål är praktiska mål mot vilka arbetet kan inriktas.

2.2 Nulägesanalys

Riskanalys hanteras på många nivåer i samhället. Lagar som skrivs tolkas av behöriga myndigheter som Trafikverket och Transportstyrelsen. Myndigheterna ansvarar för att ge förslag till riskanalys samt att hantera rapportering om olyckor. Däremot åligger det enskilda företag att utföra riskanalyser samt undersöka felorsaker vid olyckor. Hur riskanalyser implementeras idag är osäkert då kontakt med ett antal relevanta företag inte gav något resultat.

EU-förordning nummer 352/2009/EG gäller inom EU, och därmed Sverige. Förordningen inför en gemensam metod för riskvärdering och riskbedömning. Förordningen kallas CSM-RA, Common safety methods for risk assessment och ska följas vid ändringar inom järnvägssystemet. Metoden syftar till att ändringar ska resultera i acceptabla säkerhetsnivåer. CSM-RA-förordningen delas upp i två delar, där den första syftar till att fastställa när det krävs att metoden används och den andra delen beskriver den riskhanteringsprocess som ska följas (Transportstyrelsen, 2014).

För att en ändring behöver hanteras med hjälp av förordningen gäller att ändringen har en viss nivå av säkerhetspåverkan. Hänsyn ska också tas till huruvida ändringen är väsentlig eller inte. En ändring utvärderas utifrån sex punkter enligt följande.

- Konsekvens av bristande funktion – värsta scenario vid bristfällig funktion av det aktuella systemet
- Innovationsgrad – hur stor sannolikheten är att det nya systemet leder till att fel uppstår
- Komplexitet – om komplexiteten innebär en höjd risk för att ett fel uppstår i det nya systemet
- Möjlighet att övervaka – att kunna upptäcka eventuella fel innan de uppstår i ett nytt system
- Möjlighet att återgå till tidigare system – om det finns möjlighet att åtgärda fel som uppstått till följd av ändring
- Additionalitet – flera små men säkerhetspåverkande ändringar leder till en större risk att fel uppstår

Kriterierna vägs sedan samman för att en bedömning om CSM-processen ska användas. Om slutsatsen är att den ska följas, genomförs en process som syftar till att minimera risken till en acceptabel nivå. Riskbedömningen delas upp i en riskanalys och en riskvärdering där riskkällor identifieras och uppskattas.

2.2.1 Krav på riskanalys i järnvägstrafik

Krav på trafiksäkerhet formuleras i form av lagar och de förtydliganden som publiceras av behöriga myndigheter. Inom järnvägen formuleras det enligt ”SFS 2004:519” Järnvägslag och ”SFS 2004:526” Järnvägsförordning. Kraven förklaras i föreskrifter publicerade av Transportstyrelsen. Specifikt har Europaparlamentets och Europarådet gemensamt formulerat direktiv om säkerhet på järnvägar inom EU. Direktiven har sedan varit vägledande i lagarnas utformning. Kapitel 2 §6 i SFS 2004:519 formulerar krav på rapporteringsskyldighet.

”6§ Om det inträffar en olycka vid användningen av ett järnvägsfordon, som medför att minst en person avlider eller minst fem personer blir allvarligt skadade eller att fordonet, järnvägsinfrastrukturen, egendom som inte transporteras med fordonet eller miljön får omfattande skador, är järnvägsföretag och infrastrukturförvaltare skyldiga att rapportera det inträffade till tillsynsmyndigheten. [...]” (”SFS 2004:519”)

Samma stycke nämner även att rapporteringsskyldighet råder om det har funnits allvarlig fara för en olycka eller andra väsentliga brister i säkerhetsansede.

2.3 Metod för analys av TKK och lastobalans med hjälp av riskanalys

Dindar, Kaewunruen och An, 2016, undersöker olika metoder för riskanalys. Riskanalysmetoderna utvärderas utefter hur de kan tillämpas på säkerheten för spårväxlar. Den förutsättning som nämns specifikt för spårväxlar är att analys ofta görs på en stor komponent. Nackdelen blir att antalet inräknade parametrar är stort. Rapporten belyser även fyra problem med riskevalueringen.

- ofullständig undersökning – att stora men ovanliga händelser utelämnas trots att de kan ge en inverkan på resultaten
- begränsad databas – resultaten togs fram utifrån endast den egna databasen.
- bakåtblickande – det är tidigare händelser som utgör den data som undersöks och utgör riskanalysen. Nuvarande risker förutspås och integreras inte.
- okalibrerad process – leder till att riskerna konsekvent underskattas eller överskattas.

Den första punkten är delvis relevant för de analyser som ska genomföras i denna studie. Inga resultat från den data som samlats har utelämnats. Däremot har inga stora olyckor undersökts i och med att de inte uppkommit på mätstationerna som undersökts.

2. Riskanalys - Teori och tillämpning

Den andra punkten är av stor vikt. Under studiens gång har kontakter skapats med ansvariga i andra länder, tyvärr har dock bristande data från andra länder varit en negativ faktor i rapporten.

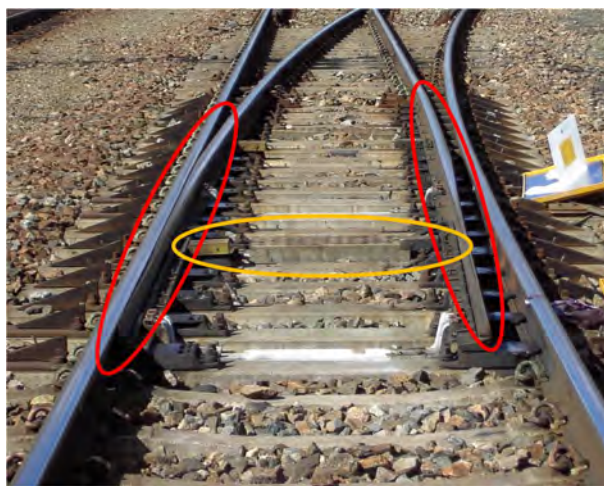
Bakåtblickande har varit utgångspunkten för undersökningarna i studien. Data för signal-fel och lastobalanser har samlats in från 2016. Bakåtblickande innebär att antagandet av framtida scenarion kommer att efterlikna tidigare.

Problemet med en okalibrerad process hanteras inte i rapporten, utan kalibrering handlar om kontinuiteten mellan flera riskanalyser. En kalibrerad process kan relateras till det som i Räddningsverkets handbok menas med systematik. Riskanalyser ska gärna vara repeterbara för att kunna undersöka om ändringar ger resultat. För att hantera skrivandet krävs det en tydlig metod och avgränsning.

3 TKK - Tungkontrollkontakt

3.1 Teori

Tungkontrollkontakten (TKK) används för att säkertställa att växeltungan ligger an mot stödrälen längs hela tungan, se fig 3.1. TKKs syfte är att säkerställa framkomligheten för tåget genom växeln. Om glapp mellan tungan och spåret överskrider 5 mm skickas en felsignal till signalsystemet som uppger en signal som hindrar tåget från att passera, ett signalfel har uppstått. Om tåget passerar då växeltungan inte ligger an korrekt kan skador på tungan och flänsklättring uppstå. Följderna kan bli skadade och fallerande växlar eller urspårning (Meyer, 2015).



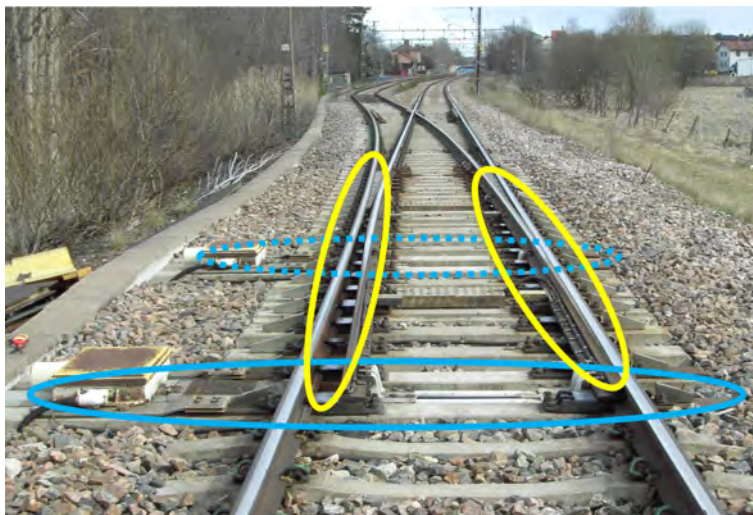
Figur 3.1: En spårväxel med växeltungorna markerade i rött och TKK i orange. (Trafikverket, 2018c)

En TKK används dock inte i alla växlar, utan enbart då följande två krav uppfylls.

- Tungans längd $> 5,9$ m
- Största tillåtna hastighet (STH) > 40 km/h genom spårväxeln

Växeldriv som används i dagsläget uppnår krafter på omkring 6 kN vid omläggning av spåren. Med den kraften kan rälen deformeras om någonting ligger emellan tungan och stödrälen (Ahlquist, 2018). I vissa fall kommer dock inte rälen att sluta helt, vilket kommer att upptäckas genom att spårkretsen inte sluts då växeldriven inte låsts i rätt läge. Den fara som upptäcks av TKK är ifall rälen lyckas sluta mot tungan vid växeldriven trots att främmande föremål finns mellan tunga och stödräl. Det här kommer ge en lokal spårviddsminskning eftersom inte *hela* växeltungan ligger an mot stödrälen. Det är en anledning till varför TKK används speciellt vid längre växlar då mindre kraft behövs för att en sådan deformation av spåret ska uppstå. I figur 3.2 visas de områden som är känsliga för främmande föremål i gult. Växeldriven är markerade i blått.

Om ett föremål lägger sig mellan rälen i något av de gula områdena kan växeln fortfarande sluta vid de båda växeldriven. Om TKK inte är installerat vid växeln är det svårt att



Figur 3.2: Växel med två växeldriv markerade i blått (Trafikverket, 2018c)

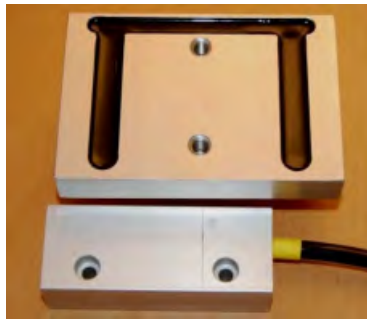
upptäcka föremålet i tid och om deformationen på rälen blir stor kan det vara en risk för urspårning om ett tåg passerar.

3.1.1 Komponentbeskrivning

Huvudkomponenterna i en TKK är en magnetdel samt ett kontaktdon. Det finns två olika varianter på magnetdelen. Den första typen skapades innan 1994 och är enbart kompatibel med mekaniska TKK (mTKK). Vid en uppgradering till en elektrisk TKK (eTKK) av första eller andra generationen krävs även att magnetdelen byttes ut till den nya elektriska varianten. Magnetdelen som skapades efter 1994 är kompatibel med bägge systemen. Fokus under arbetet kommer främst ligga på den nya magnetdelen. Skillnaden mellan mekaniska och elektroniska TKK är att den mekaniska TKK:n innehåller rörliga delar. Den elektriska saknar rörliga delar då den är helt elektronisk (Meyer, 2015).

3.1.1.1 Magnetdelen

Magnetdelen består av tre komponenter; magnetsystemet, fästplattan och skyddet. I magnetsystemet finns en aluminiumkloss med ett fräst u-spår där magneterna placeras. Magneterna hålls i sin tur på plats med hjälp av en gjutmassa. Avslutningsvis monteras ett aluminiumskydd över systemet för att skydda komponenterna från yttre skador och slitage.



Figur 3.3: Magnetdel (överst) och ett elektroniskt kontaktdon (nederst) samt deras placering relativt varandra (Meyer, 2015).

3.1.2 Underhåll och åtgärder

En TKK granskas efter fel eller när en besiktning av växeln genomförs, vilket sker på regelbunden basis enligt Trafikverket (Trafikverket, 2015a). Genomförandet av kontrollen består av en inspektion av att kontaktdonet och magnetdelen sitter fast, samt att tungan får kontakt mot rälen då växeln manövreras. Gränserna för det maximala glappet varierar mellan 6 till 3 mm beroende på besiktningssklass. Det förekommer fler punkter vid granskningen av kontrollen, men enbart kontrollen av glappet berör TKK:n. Om växeln fungerar som den ska görs ingen vidare kontroll på TKK:n. Vid haveri byts den ut. Den beräknade medellivslängden för en TKK är enligt Trafikverket 23 år.

3.2 Nulägesanalys TKK

I dagsläget är det få olyckor som kan härledas till användande av TKK. Det finns däremot flera fall då TKK har fallerat med försenade och inställda tåg som följd. Under 2017 felanmäldes totalt 378 TKK:er varav 28 var mTKK och resten eTKK (Trafikverket, 2017). Den stora skillnaden bör bero på den relativt sällsynta användningen av mTKK. Totalt påverkades 1 056 tåg vilka sammanlagt blev försenade 15 427 minuter med en genomsnittlig försening på 22 minuter per tåg.

3.2.1 Jämförelse med andra länder

Tungkontrollkontakten används inte i alla länder. Istället används ofta liknande mätinstrument för att kontrollera tungans position. På senare tid har mätinstrumentet EPD 4.0 (Elektro-Mechanical End Position Detector) tagits fram (Voestalpine, 2018). Produkten har utvecklats av Voestalpine Signaling och fyller samma funktion som den svenska detektorn TKK. Skillnaden mellan EPD 4.0 och eTKK2 är att EPD:n inte är beroende av någon extern strömförsörjning.

I Storbritannien används ett system som kontrollerar att maskineriet befinner sig i rätt läge genom att en elektrisk krets sluts när växeldriven gått i lås. Metoden kontrollerar inte att tungan sluts mot rälen utan endast att växeln bör befinna sig i rätt position. Vid växlar

gjorda för höga hastigheter är det dock krav på en detektor för tungans position (British Railways, 1992).

Flera länder förlitar sig på att växeln alltid fungerar och använder därför inget system för att kontrollera att växeln har lagts om korrekt, mer än att kontrollera om spårkretsen är sluten. Spanien hade en variant av TKK på försök, men i dagsläget används ingen extern kontrollmekanism (Alguacil, 2018).

I USA, där användandet av TKK inte är obligatoriskt, inträffade under 2016 totalt 41 olika urspårningar där orsaken kunde fastställas till att växeltungan inte slutit som den skulle. Fyra av urspårningarna skedde på huvudspår och resten på bangårdar, sidospår eller industrispår (Federal Railroad Administration, 2016). Överlag anses det inte vara ett problem i USA med att växlarna inte sluter som de ska. De förlitar sig på att spårkretsen inte sluter om det ligger något i vägen för växeln (Paulsson, 2018). När man jämför olika länder med avseende på teknik och säkerhet är det värt att notera att andelen gods- och passagerartåg kan variera kraftigt.

3.2.2 Risk för urspårning på grund av spårviddsminskning i spårväxel

1987 genomfördes tester av SJs maskinavdelning där resultaten tydde på att den övre gränsen för deformation av växeltungan på 15 mm absolut inte fick överskridas (Bednarcik, 1987). Resultatet var oberoende av vikten och hastigheten på tåget. Till följd av testerna började TKK:er införas på samtliga växlar vars tunglängd överskred 5,9 meter och där STH var över 40 km/h. Hastighetsbegränsningen utgår ifrån att en urspårning under 40 km/h anses få acceptabla följder.

Rapporten av Bednarcik är kortfattad, vilket gör att metoden inte framgår tydligt. Därför undersöks nya beräkningar och förslag till utvecklande analyser.

Dessa värden ligger fortfarande som grund för dagens krav på TKK. För att få en mer detaljerad bild bör nya analyser av effekten av TKK vid olika hastigheter genomföras. Analysen bör innefatta tester av olika spårvidsskillnader, med olika vikter och lastobalanser på tåget, samt undersöka om rälen kan deformeras då en sten befinner sig mellan tungan och rälen. Analysen bör tillsammans med en riskanalys kunna besvara om växeln kan orsaka större problem med en TKK än utan.

3.2.3 Del av växeltungan som kontrolleras av TKK

Vid ett test (Lövgren och Lindeberg, 2006 som genomfördes under 2006 på mätstation EV-SJ50-12-1:13 i Ålsäng med en spårviddsminskning på 15 mm, konstaterades att minst 50 % av växeltungans längd kontrollerades av TKK:n, och inte av växeldriven (Lövgren och Lindeberg, 2006). Baserat på testet framställdes följande tabell som riktvärde för olika växlar.

Tabell 3.1: Andel av växeltungas längd som kontrolleras av TKK (Höjsgaard, 2006)

Andel av växeltungans längd som kontrolleras av TKK	
<i>EV-UIC60- 300-1:9</i>	46%
<i>EV-UIC60- 500-1:12</i>	50%
<i>EV-UIC60- 760-1:14/15</i>	64%
<i>EV-UIC60- 1200-1:18,5</i>	70%
<i>EV- BV50-300- 1:9</i>	50%
<i>EV- BV50-600- 1:13/15</i>	57%
<i>EV- SJ50-300- 1:9</i>	54%
<i>EV- SJ50-12- 1:9/12/13/15</i>	50%
<i>EV- SJ50-20,6- 1:18,5</i>	72%
Medelvärde	57%

3.3 Genomförande

Följande frågor användes i en analys av Banverket (Höjsgaard, 2006). Samma frågor används till analysen om TKK:

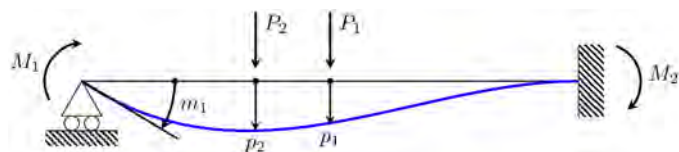
- När finns risk för urspårning om det uppkommer en spårviddsminskning i en spårväxel?
- Hur stor del av växeltungan kontrolleras av TKK och hur stor del kontrolleras av kontrollfunktionen i växeldrivet?
- Hur ofta kan en farlig situation inträffa?
- Visar erfarenheten att TKK:n behövs?

Litteraturstudier gav grund till nulägesanalysen i denna rapport. För att kunna beräkna effektiviteten och träffsäkerheten hos TKK analyserades data hämtad från Trafikverket. Genom att jämföra antalet larm där det bedömdes att TKK:n larmat för en giltig orsak mot det totala antalet larm kunde tillförlitligheten beräknas. Ett larm bedöms giltigt då TKK detekterar ett föremål i växeln som inte upptäcks av växeldriven. (Höjsgaard, 2006). Bedömningen genomfördes med underlag från vad som rapporterats till Trafikverkets uppföljningssystem LUPP.

3.3.1 Behandling och sammanställning av data

En analys av Trafikverkets mätdata från 2017 gällande signalfel vid växlar genomfördes. Alla infra- och tågstörande fel som rapporterats i trafikverkets uppföljningssystem LUPP (Trafikverket, 2018b) gällande spårväxlar inkluderades. Felen sorterades efter komponent och de som har angiven komponent som "eTKK 2" analyserades vidare. Den vidare analysen genomfördes, genom att alla olika felorsaker summerades. Vidare bedömdes de olika felorsakerna som antingen *giltiga* eller *ogiltiga* beroende på vad som förväntades av systemet. De två kategorierna jämfördes och en relation mellan antalet giltiga och ogiltiga larm kunde åskådliggöras. Det är även det här som utgör tillförlitligheten hos en TKK.

3.3.2 Hållfasthetsanalys

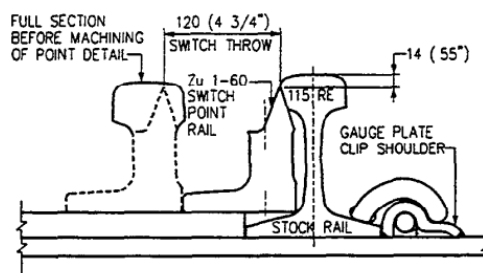


Figur 3.4: Elementarfall fast inspänd balk

Hållfasthetsanalysen genomfördes med balkteori där det antogs att en växel av typ UIC60 användes. Vid tester av samma typ av växel framkom det att den största tillåtna deformationen var 15 mm (Bednarcik, 1987). Växeln approximerades till elementarfallet för en balk med ensidig fast inspänning, se figur 3.4. Det antas att yttrögheten I är jämn längs hela balken. Antagandet gäller om växeltungan har samma tvärsnittsprofil längs med hela tungan. Utifrån maximala deformationen ansattes δ , vilket i sambandet 3.1 motsvarar deformation till 15 mm. Eftersom det används två växeldriv fick kraften F dubblas, då båda drivens kraft kommer att påverka utböjningen. Stödrälen antogs vara styv då den är förankrad i slipers med korta mellanrum. Ekvationen som användes var följande:

$$\delta = \frac{2 * F * 7 * L^3}{768 * E * I} \quad (3.1)$$

Då UIC60-räl används kunde data hämtas direkt från tillverkare (British Steel, 2017) och yttröghetsmomentet för den hela rälsprofilen sattes till $I_y = 7,412 * 10^{-6} \text{ m}^4$. Eftersom rälsprofilen på olika växlar skiljer sig åt beroende på växelns utformning approximerades växeltungan till att vara jämnstor genom hela längden. Det antas ge ett resultat som kan gälla för de flesta växlar av samma typ oavsett utformning. Med denna förenkling antas samma yttröghetsmoment gälla för hela tungan, vilket gör beräkningarna betydligt enklare än om en avsmalnande tunga använts. I figur 3.5 syns det att det som skiljer sig i rälsprofilen är tjockleken på huvudena på rälen. För att få en indikation på vilka krafter som krävs för att deformera spåret används den förenklade modellen. Den förenklade metoden motsvarar en styvare balk än i verkligheten och kan således approximeras till ett värstascenario som växeldriven kan tänkas hantera.



Figur 3.5: Rälsprofil i växeln (TCRP, 2012)

E-modulen antogs vara $E = 210 \text{ GPa}$. Om utböjningens största tillåtna värde är $\leq 15 \text{ mm}$, kan kraften som växeldriven behöver för att böja rälen räknas ut både för hela och halva rälsprofilen. MATLAB-beräkningarna kan ses i sin helhet i bilaga F.

3.3.3 Kostnadsanalys

Kostnadsanalysen baserades på beräkningar sammanställda av MSB och VTI gällande kostnader för försenade tåg. Även samma antaganden som Ahlberg, 2015 använder sig av, används i rapporten. Datan som beräkningarna baseras på är hämtade ur Trafikverkets uppföljningssystem LUPP.

Uppdelningen mellan passagerar- och godståg baserades på trafikdata för hela Sverige från Trafikverket under perioden december 2017 till januari 2018. Vilket gav att passagerartrafiken stod för 75% av tågrörelserna och godstrafiken 21% (Trafikverket, 2018a)

För att beräkna störningskostnaderna delades tågen upp i tre grupper; Pendel- & regional-tåg, fjärrtåg och godståg. För pendel- och regional-tåg beräknades förseningstiden utifrån följande ekvation:

$$T_{försening} = A_{pendel} * T_{inställd} + A_{regional} * T_{inställd} \quad (3.2)$$

Där $T_{inställd}$ är den genomsnittliga tiden tåget får vara försenat för att en inställelse ska bli aktuell. Tumregeln säger 15 min för pendeltåg, 30 min för regional-tåg och 1 timme för övriga tåg (Ahlberg, 2015). Förseningstiden för fjärrtågen beräknas på ett liknande sätt. Andelen tåg av olika slag betecknas med $A_{tågtyp}$. Störningskostnaderna blir följande:

$$K_{försening} = T_{försening} * P_{resenärstyp} * D_{beläggning} * V_{åktid} * V_{förseningstid} \quad (3.3)$$

Kostnaden gäller för varje tågtyp och summerades för att få den totala förseningskostnaden. Som Ahlberg nämner är det de kortsiktiga kostnaderna för störningen som beaktas och inte de långsiktiga. De långsiktiga kostnaderna anses vara svårberäknade och är därför inte aktuella att inkludera.

Förseningstiden beräknas enligt (3.2). Resenärsfördelningen på tågen är en generell uppskattning på fördelningen av resenärer utanför Stockholm och visas i tabell 3.2.

Tabell 3.2: Resenärsfördelning (Ahlberg, 2015)

Tågtyp	Pendling	Privatresa	Tjänsteresa
Pendel- & regional-tåg	43%	54%	3%
Fjärrtåg	25%	59%	16%

Beläggingsgraden antas vara 36% vilket är ett genomsnitt som gäller för all persontrafik. Åktidskostnaden motsvaras av åktidsbesparingen som visas i tabell 3.3. Förseningstidsvärdet är enligt Ahlberg satt till 3,5 och är en enhetslös merkostnad som uppstår för förseningar.

Tabell 3.3: Åktidsbesparing (Ahlberg, 2015)

Transportslag	Privata resor			Tjänsteresor
	Långväga Resor	Kortväga resor		
		Pendlingsresor	Övriga resor	
Tåg	73	69	53	247

För godståg beräknas förseningskostnaden genom att multiplicera förseningen med två gånger det genomsnittliga godstidsvärdet. Enligt Ahlberg är godstidsvärdet 647 kr/h.

3.3.3.1 Urspårningskostnad

En urspårning innebär stora ekonomiska kostnader. Den kostnad urspårningar innebär har undersökts inom EU-projektet D-Rail (Vasic, 2012). Kostnaderna är generella, vilket beror delvis på metoden och att informationen om kostnad är känslig. Metoden som användes av författarna var att samla erfarenhet om tidigare urspårningar i några av de deltagande länderna. Information om antalet urspårningar, deras orsaker och deras konsekvenser gjorde att kostnader och frekvenser för olika typer av olycka kunde värderas.

Tabell 3.4: Andel av urspårningar och genomsnittlig kostnad för dem (Vasic, 2012)

Causes DNV Infrastructure Subcategory	Derailement share	Cost per derailement
Subsidence	0.64%	-
Earth slide/tunnel collapse	0.00%	-
Substructure wash-out due to flooding etc.	0.32%	2,244,532 €
Bridge failure	0.64%	-
Rail failures	2.87%	587,025 €
Joint bar & plug rail failures	0.32%	-
Switch component structural failure	2.23%	114,748 €
Failure of rail support and fastening	2.23%	280,811 €
Track superstructure unsupported by substructure	0.85%	-
Other track and superstructure failure	0.32%	-
Excessive track twist	6.58%	552,627 €
Track height/cant failure	3.40%	281,922 €
Lateral track failure	0.53%	-
Track buckles (sun-curves)	1.59%	626,948 €
Excessive track width	8.60%	474,966 €
Other or unspecified track geometry causes	1.59%	1,155,236 €
Other infrastructure failure	0.96%	122,734 €

I tabell 3.4 sammanställs kostnader per urspårning utifrån typen av urspårning. En urspårning till följd av att en komponent på spårväxeln inte fungerar (eng: *switch component fail*) uppges kosta 114 728 € (Vasic, 2012). En urspårning som beror av spårvidd (eng: *excessive track width*) uppges kosta 474 966 €. En generisk allvarlig urspårning, oberoende av typ, kostar 600 000 €. En generisk urspårning där infrastrukturen varit orsaken, vilket omfattar TKK och spårväxlar, kostar 624 541 €.

Oberoende av typen av urspårning ska 23 500 € läggas till i kostnadsberäkningen för mänskliga kostnader och kostnader på miljön. Den siffran härstammar ifrån att frekvensen för dödsfall och allvarlig skada är 0,004 respektive 0,006 stycken per urspårning eller

2 respektive 3 per 500 urspårningar. Frekvensen för dödsfall och skada på miljön kommer till största del ifrån urspårningar där tågen varit lastade med farligt gods. Antalet urspårningar där farligt gods har varit involverade är 35 av 500.

För att beräkna den kostnad som skulle kunna uppstå av att TKK plockas bort, multipliceras snittkostnaden för en urspårning som mättes av D-Rail för spårväxelfel med antalet olyckor som kan förväntas ske av ändringen. Eftersom det är osäkert om urspårningen skulle involvera farligt gods används den generella tilläggskostnaden på 23 500 € i beräkningarna.

4 Lastobalans

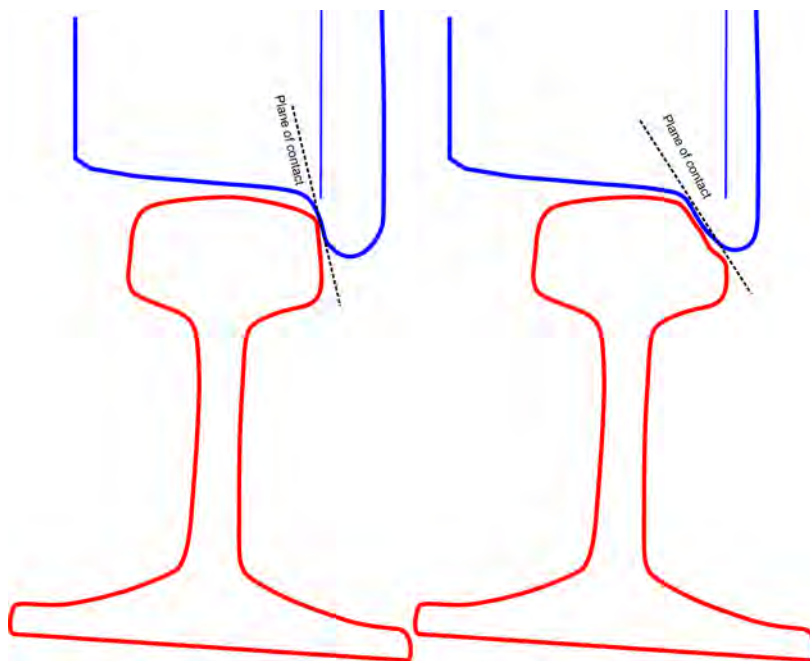
4.1 Teori

Lastobalans är en av åtta vanliga orsaker till urspårning och uppstår då vikten av gods fördelas ojämnt på en vagn. Viktvariationer skapas då i tågets längd och vinkelräta riktning. Det är de vinkelräta obalanserna, lastvariationer mellan höger respektive vänster sida av tåget, som skapar störst risk för urspårning (Franklin m. fl., 2011).

Lastobalanser kan, utöver vid själva lastningen, uppstå under transporten till följd av hur vagnen lastas innan körning. Skiftningar i lasten kan uppstå på grund av vibrationer eller ryck av olika slag. En vagn som varit i balans vid lastning kan hamna i obalans under transporten, men effekten kan bli mer omfattande om lastningen från början sköts inkorrekt (Union Pacific Railroad, 2016). Snedlastning innebär att det blir ojämn belastning mellan hjulen. Det kan innebära att styvheten hos fjädringen försämras på den mer belastade sidan. En försämrade fjädring kan leda till att stötar och vibrationer inte absorberas som dämpningen avsett. Följden blir att transporten inte blir lika säker (Ekberg, 2013).

Vid höga lastobalanser finns det en risk för att flänsklättring uppstår. Det är ett fenomen där ett lateralt tryck uppkommer mellan hjulet och insidan av rälen. Resultatet blir att friktionskraften uppåt övervinner gravitationskraften och flänsen på hjulet klättrar upp på rälen. Resultatet kan bli en urspårning. Flänsklättring uppstår vid kurvor eller där det finns större brister i spårgeometrin. Figur 4.1 nedan beskriver kontakt mellan hjulfläns och räl när flänsklättring uppstår. På den vänstra bilden har hjulet börjat klättra på en oskadad räl, på den högra har hjulet klättrat upp på en skadad räl. Skillnaden är vilken vinkel kontaktplanet mellan hjulet och rälen har och ju mindre vinkel desto lättare är det för flänsklättring, och därmed urspårning, att uppstå.

Ett relaterat ämne är flänsklättring i växlar. Växeln kan här tänkas motsvara en extremt skarp kurva. I växelområdena uppstår ofta höga krafter i både lateral och longitudinell riktning, vilket driver flänsklättringen. Vid ojämnheter i spåren kan risken för flänsklättring öka ytterligare, vilket i sin tur kan innebära en ökad risk för urspårning. Ytterligare ett problem är att en majoritet av banorna i Sverige är anpassade för persontrafik. Eftersom persontåg kör med högre hastigheter än godstrafiken innebär det att spårgeometrin utformas på ett särskilt sätt. Högre hastigheter kräver större dosering, rälsförhöjning. Vid höga hastigheter kommer en stor del av kraften hamna på yttre hjulen i och med en hög centrifugalkraft. Det här utjämnas av den lutande spårgeometrin. Då godstrafik ofta kör långsammare, kommer kraften minska och istället hamnar trycket på innerhjulen i och med den höga doseringen, vilket kan innebära en säkerhetsrisk vid snedlastning.



Figur 4.1: Flänsklättring vid nominell respektive sliten rälsprofil (Afterbrunel, 2013)

4.1.1 Lasttyper

Olika typer av last samt vilka vagnar de fraktas med kan påverka i vilken grad lastobalanser uppstår. Timmer och liknande byggvaror transporteras oftast i öppna vagnar där lasten struktureras och balanseras av ställningar. Dock är den typ av lastning beroende av att det transporterade godset är tåligt mot vind och väta. I fall med känsligare frakt används containrar som skyddar och förvarar godset.

Den svåraste typen av last att handskas med anses vara flytande last som inte fyller ut hela behållarens volym. Det som då kan ske är att vätskan börjar röra sig i behållaren och skapar vågrörelser. Vågorna skapar lastobalanser både longitudinellt och vertikalt, vilket kan skapa upp till 20% större risk för flänsklättring (UIC, 2015).

4.1.2 Riktlinjer och gränsvärden för lastning

UIC:s riktlinjer vid lastning av gods formuleras i ekvationerna (4.1)–(4.2). Obalanser vid lastning kan innebära att större obalanser skapas vid transport. Riktlinjerna är baserade på att lasten inte ska avvika alltför mycket från rekommenderat masscentrum för optimal stabilitet. Masscentrumet antas för enklast möjliga fall ligga i vagnens absoluta mittpunkt, men ges även ett begränsande förhållande enligt ekvationerna nedan. (UIC, 2015)

$$\varphi_{long} = \max \left[\frac{E_1}{E_2}, \frac{E_2}{E_1} \right] \leq 3 \text{ (alt. 2 för tvåaxlade vagnar)} \quad (4.1)$$

$$\varphi_{lat} = \max \left[\frac{R_1}{R_2}, \frac{R_2}{R_1} \right] \leq 1,25 \quad (4.2)$$

I ekvationerna ovan motsvarar beteckningen $E_{1,2}$ axellasten som används i beräkningen av viktfördelningen i longitudinell riktning. $R_{1,2}$ representerar lastfördelningen som sker mellan respektive hjulpar (lateral riktning). Begränsningarna förhindrar att lastskillnaden inte blir för stor mellan enskilda hjul.

Vid transport använder sig Sverige av särskilda gränsvärden (Paulsson, 2018). De är uppdelade i tre kategorier:

- Godkända vilka motsvarar ett uppmätt lastförhållande $\varphi_{lat} < 1,3$
- Varningar vid $1,3 < \varphi_{lat} < 1,7$
- Larm för $\varphi_{lat} > 1,7$

Värden fås från mätningar som sker med detektorer längs järnvägen, då tåget är i rörelse.

4.2 Nulägesanalys lastobalanser

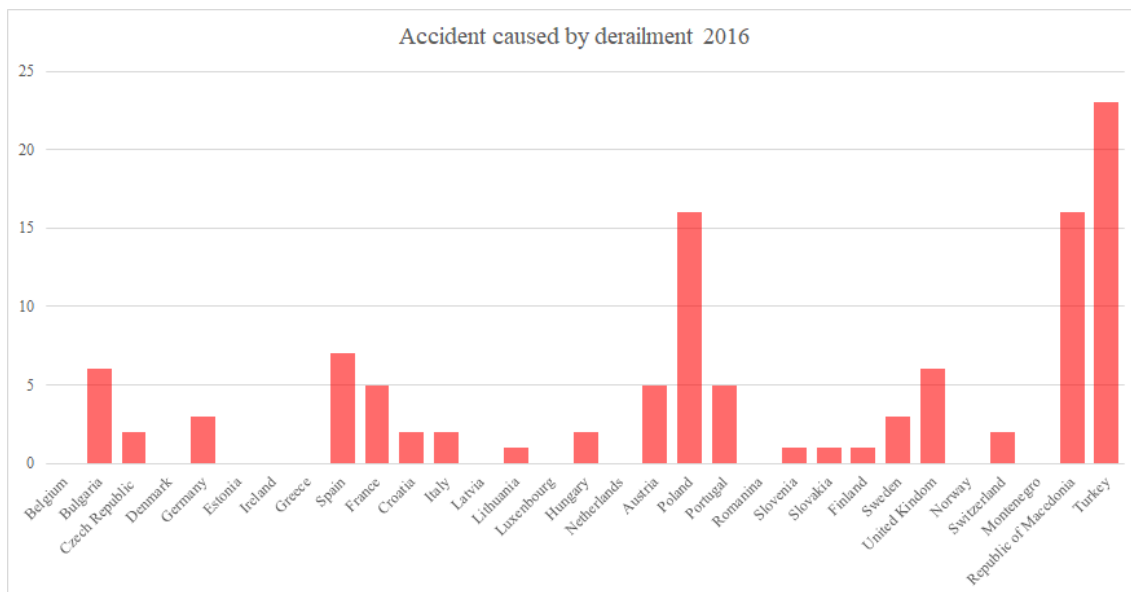
Det sker idag väldigt få allvarliga olyckor på järnvägar. I en undersökning som genomfördes mellan 2006 och 2016 av Transportstyrelsen sammanställdes antalet urspårningar i Sverige (Transportstyrelsen, 2017). Totalt under åren inträffade 86 olyckor relaterade till urspårning. Endast en bedömdes dock vara allvarlig. År 2012 inträffade en olycka där en person bedömts fått allvarliga skador. Om olyckor är kopplade till lastobalanser kan inte med säkerhet konstateras, men lastobalanser orsakar olyckor främst genom urspårning. I den här rapporten kommer främst år 2016 att studeras. Totalt skedde tre allvarliga urspårningar under 2016, dock utan någon omkommen som följd.

Från data publicerad av Eurostat 2016 (Eurostat, 2016), kan antalet olyckor orsakade av urspårning avläsas. Tre länders data sticker ut: Polen, Makedonien och Turkiet (se figur 4.2). Totalt inträffade 68 stycken urspårningar i EU och omkringliggande länder. Det totala antalet omkomna beräknades under tidsperioden till elva personer, varav sju personer i Bulgarien och fyra i Spanien. De fyra avlidna i Spanien berodde dock på en olycka orsakad av att tåget färdades i för hög hastighet, vilket orsakade flänsklättring och en urspårning. I övriga länder resulterade inga urspårningar i dödsfall. För incidenterna i tabellen har någon av följande händelser inträffat vid urspårning av ett tåg i rörelse; åtminstone en person omkommit, eller så har urspårningen orsakat stora skador på rälen. Kringliggande installationer och naturen har i vissa fall också påverkats. Även stora fördröjningar i trafiken är medtagna. Däremot inkluderas inte urspårningar på bangårdar eller vändplatser (Eurostat, 2016).

Under 2016 redovisar statistik från FRA i USA (Federal Railroad Administration, 2016) att det sker 1 351 urspårningar, varav 18 stycken orsakats av lastobalans. Kriterierna som användes i databasen anpassades för att matcha den europeiska undersökningen. Därigenom kontrollerades enbart järnvägens huvudspår, inte bangårdar och sidospår. Övriga kriterier för att incidenter ska redovisas i FRAs system är samma som i Europa (U.S. Department of Transportation Federal Railroad Administration, 2011). Det innebär att antalet urspårningar till följd av lastobalans i USA var av samma storleksordning som totala antalet urspårningar i Polen, Makedonien och Turkiet.

Värt att notera är att urspårningarna beräknas i antal och därmed inte i förhållande till tågkilometer eller tonkilometer, vilket krävs för en jämföring mellan europeiska länder

och USA.



Figur 4.2: Ursparningsstatistik för europeiska länder under 2016 (Eurostat, 2016)

4.2.1 Sammanställning av snedlaster i Sverige 2016

En sammanställning gjordes av detektordata från Trafikverket för olika platser i Sverige under perioden 10 oktober 2016 till 10 oktober 2017 (Isaksson, 2017). Totalt gjordes under tidsperioden ungefär 24,4 miljoner mätningar. De är fördelade enligt följande; 15,9 miljoner mätningar på förhållandet mellan vänster och höger del av en axeln, 4,6 miljoner mätningar fram–bak på boggin, samt 3,8 miljoner på vänster–höger på boggin.

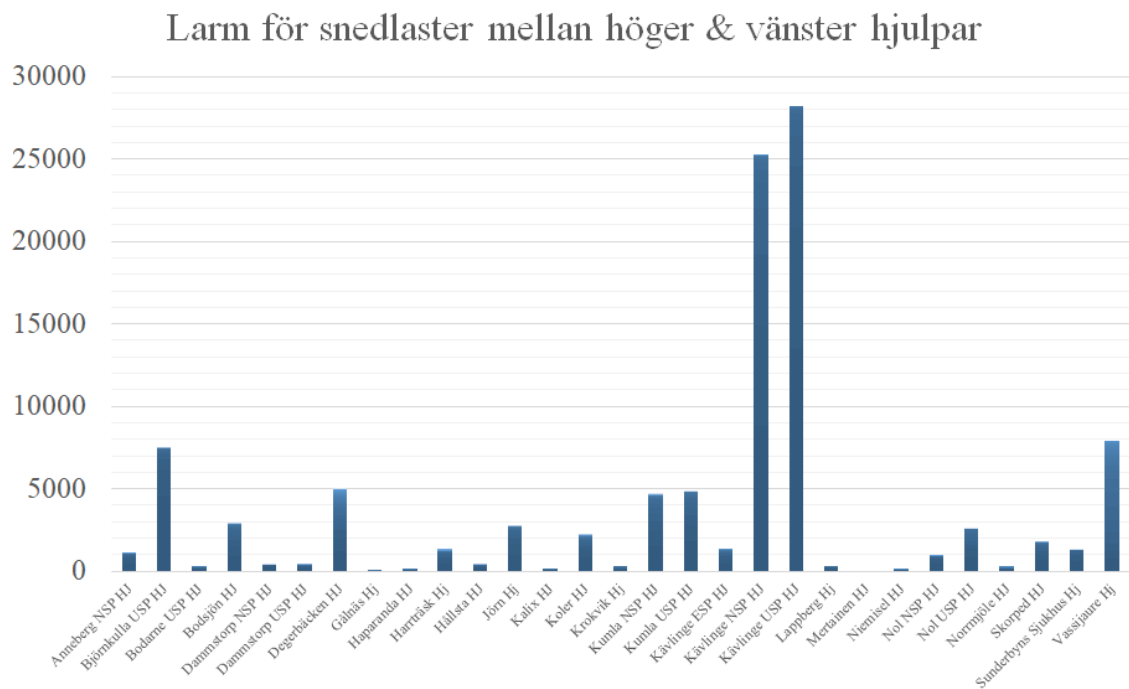
Det kan konstateras att mätningarna i Kävlinge, Björnkulla och Vassijaure har en hög andel avvikande resultat. Vad som skiljde dem från de andra mätningarna var att de hade ett högre antal mätningar som gav stora lastobalanser. Det kan finnas förklaringar till avvikelserna, där det exempelvis kan resoneras i att det är fel på mätplatserna eller att detektorerna är placerade i kurvor.

Vid analys av mätvärdena, där de tre avvikande stationerna enligt ovan utesluts, framgår det att av det totala antalet mätningar fås en felsignal, det vill säga en varning eller ett larm, på 7,4% av axelpassagera. Larmsignalerna utgör i sig 0,54% av det totala antalet mätningar. Det är en väldigt liten andel, men med ett stort antal tågpassager blir utfallet högt. De flesta larm berör obalanser mellan vänster och höger på axlarna, men även obalanser mellan fram och bak på fordonen förekommer ofta. Hur de svenska mätstationerna är placerade runt om i landet syns i bilaga E.1.

4.2.2 Förstudie

I en första analys genomförs en jämförelse mellan två mätstationer i Sverige, Bodsjön och Koler. Stationerna valdes utifrån geografisk placering samt utifrån statistik från analyser

för snedlast i Sverige (Pålsson, 2017; Fehrlund, 2018). Den geografiska placeringen innebär att södra delar av landet sorteras bort eftersom det främst sker persontransporter och de ger inte upphov till osäkra obalanser. Unikt för både Bodsjön och Koler är att de hade ett flertal olika lastobalanser som uppnådde ett lastförhållande på 4.



Figur 4.3: Larm under 2016 mellan höger och vänster hjul på en axel (Isaksson, 2017)

4.3 Genomförande

Data för lastobalanser från Koler och Bodsjöns mätstationer sammanställdes i ett Matlab-script för att identifiera samband, avvikande värden samt felvärden. Genom sortering av värden kunde ekvationer härledas för att beskriva förhållandet mellan bland annat antalet larm och lastförhållandet. Det vill säga fördelningen mellan godkända-, varnings- och larmsignaler för x antal mätvärden. För att kontrollera om det går att uttrycka fördelningen med hjälp av en matematisk formel, eller för att kontrollera att det sker en symmetrisk fördelning av lastobalanser, plottas antalet obalanser för ett givet intervall mot varandra i ett histogram.

Ytterligare en punkt som granskas är vad som händer larmgränsen om larmgränsen höjs eller sänks. Det kontrolleras genom att ändra larmgränsen och sedan jämföra hur många larm som uppstår procentuellt för motsvarande larmgräns. Resultatet från studien ligger till grund för en diskussion om huruvida gränsvärdet för larm bör höjas eller sänkas utifrån både ekonomiska och etiska aspekter.

En jämförelse mellan Sveriges och Österrikes mätvärden genomfördes för att kontrollera om sambanden är internationellt gångbara eller varierar kraftigt mellan länder.

4.4 Fallstudie

I en olycksrapport för godståg nummer 41328, som spårade ur vid stationen ”Wien Donaukaibahnhof” i Österrike, var lastobalans en bidragande orsak till olyckan. Vid en mätning syntes att lastförhållande låg på 2,44[-], med lastfördelningen 4,12 ton på vänstra sidan av axeln och 1,69 ton på högra sidan. Förhållandet överskrider det tillåtna värdet i Sverige ($\varphi_{lat} < 1.7$). Urspårningen resulterade i att åttonde axeln på vagn tio släppte från hjulupphängningen och slungades åt sidan. Situationen uppmärksammades inte av lokföraren och det ledde till skador på axelparet framför. Rälsen påverkades också, då det även uppstod skador på axelräknare längs sträckan, vilket i sig ledde till störningar i signalsystemet. (European Railway Agency, 2007)

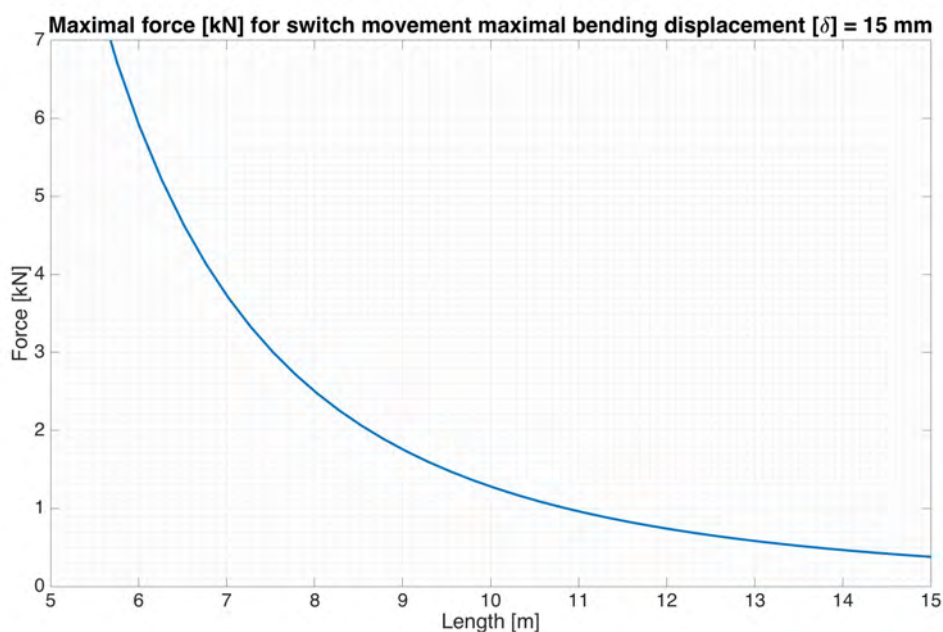
Ytterligare ett fall i Wien där lastobalans orsakat en urspårning inträffade 2008. Urspårningen skedde vid ”Wien Zentralverschiebebahnhof”, på den 13:e vagnen. En detektor i tågets riktning mätte axeltrycken på den urspårade axeln vilket påvisade stora skillnader i tryck mellan axlarna, både i longitudinell och lateral riktning. Det första axelparet hade $\varphi_{lat} = 2,59$ till vänster, medan axelpar två hade en jämn fördelning. Både axelpar tre och fyra hade höga obalanser. Den främre boggins lastförhållande, i kombination med en snäv kurvradie på 223 m samt en låg hastighet på 30 km/h, ledde till problem i upphängningssystemet vilket orsakade en separation av huvudluftledningen mellan den 13e och 14e vagnen. Följden blev ett omedelbart stopp där separationen identifierades. (European Railway Agency, 2008)

Typerna av olyckor i fallen ovan liknar varandra, men med tydlig skillnad i att lastobalansen i det första fallet orsakade en urspårning på ett enskilt axelpar, då förhållandet blev för stort. I andra fallet låg däremot vikten snett framåt vänster, vilket ledde till en separation mellan den aktuella vagnen och den bakomliggande.

5 Resultat

5.1 TKK

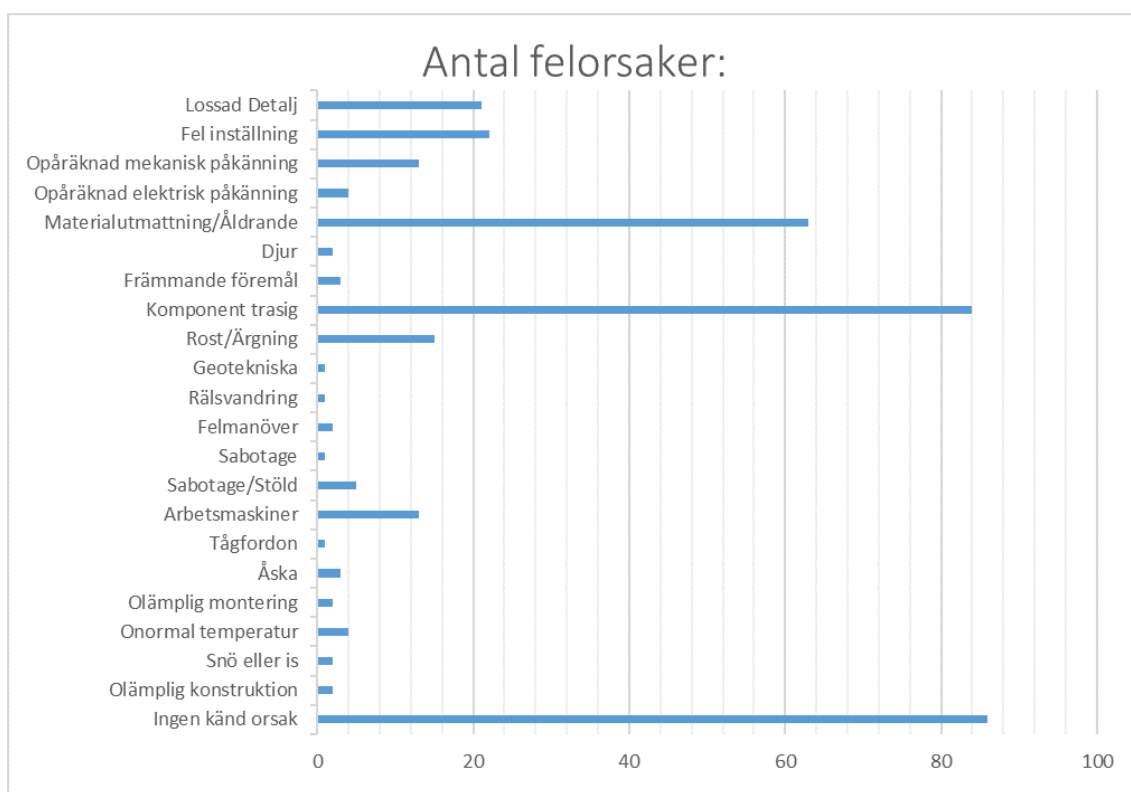
5.1.1 Hållfasthetsanalys



Figur 5.1: Kraft för att deformera rälen 15mm i sidled

Resultatet från hållfasthetsanalysen av en växel med UIC60-räl visas i figur 5.1. Kurvan visar den maximalt tillåtna kraften, enligt elementarfall för balkar (ensidig fast inspänning), för största godkända deformation på 15 mm eller mindre. Utifrån att kraften för en växelomläggning ligger på ungefär 6 kN fås att den längsta tillåtna längden på en växeltunga kan vara 6.0 m, om en hel rälsprofil används. Om tungan är längre behövs en kontrollanordning som säkerhet mot att den inte ligger fel vid förekomst av sten eller annat främmande föremål mellan räl och tunga.

5.1.2 Robusthetsanalys



Figur 5.2: Orsaker bidragande till signalfel beroende på TKK under 2017 (Trafikverket, 2017)

Av felorsakerna är endast ”Främmande föremål” och ”Snö eller is” fall då TKK:n fungerar som det är tänkt. De felorsakerna stod för totalt 5 av signalfelen, motsvarande 1,5% av samtliga 350 signalfel som orsakades av TKK under 2017. Samtliga signalfel beroende på främmande föremål i växeln där föremålet kunde identifieras, det vill säga även de som inte berör TKK, finns listade i D.1.

5.1.3 Försenade tåg på grund av TKK-fel under 2017

Tabell 5.1: Antal försenade tåg & total förseningstid per tågtyp

Tågtyp	Antal	Försening
Pendel- & regionaltåg	515 st	125 h
Fjärrtåg	277 st	67 h
Godståg	229 st	56 h
Totalt	1021 st	257 h
Medelvärde	≈ 3st	≈ 44min
Median	3 st	25 min

5.1.4 Kostnadsanalys

I tabellen nedan redovisas kostnader för olika typer av järnvägstransporter. Den totala kostnaden på 34,3 miljoner kronor under 2017 består till 63% av kostnader för förseningar gällande pendel- och regionaltåg. Resterande 36% utgörs fjärrtåg, den kvarstående procenten utgörs av godståg.

Tabell 5.2: Kostnader för förseningar TKK-fel 2017

Tågtyp	Kostnad
Pendel- & regionaltåg	21,8 MSEK
Fjärrtåg	12,5 MSEK
Godståg	Går ej att beräkna
Totalt	34,30 MSEK

5. Resultat

En kostnadsanalys gjordes med hjälp av data från D-Rail (Vasic, 2012), Antagandet görs att varje felsignalering som uppmättes 2016 som berodde på ”främmande föremål” och upptäcktes av TKK hade inneburit en urspårning om inte TKK hade varit installerat.

En urspårning som beror på främmande föremål kan betraktas tillhöra infrastruktur enligt kategoriserande som görs av D-Rail. Där kan orsaken antingen sägas vara switch component fail eller likna excessive track width. Den slutsatsen kommer ifrån att främmande föremål skulle innebära en spårviddsminskning som ger upphov till flänsklättring. Kostnaderna för de olika fallen undersöks där även kostnaden för en generell allvarlig olycka undersöks. Eftersom den kostnaden är större än kostnaden för de två subkategorierna kan den säga utgöra worst-case kostnaden. Kostnaden växlas till svenska kronor enligt nuvarande växelkurs och multipliceras med 3 då det är frekvensen för främmande föremål”.

Tabell 5.3: Kostnader per år för urspårningar på grund av att TKK plockas bort

Antagande om orsak	Kostnad/ urspårning [€]	Kostnad/ urspårning [MSEK]	Tot. kostnad [MSEK]
Switch component failure	114 728	1,2	4,3
Excessive track width	474 996	4,9	15,4
Generell urspårning där infrastrukturen varit orsaken	624 541	6,4	20,0
Generell allvarlig urspårning	600 000	6,2	19,3

Slutligen läggs 23 500 € till per urspårning utifrån risken för dödsfall, allvarlig skada och miljöskada enligt rekommendationer från D-Rails rapport. De indirekta kostnaderna ingår i sista kolumnen i tabell 5.3

Frekvensen för dödsfall och allvarliga skador skulle för tre urspårningar, om det antas att alla fall av främmande föremål i växeln skulle leda till urspårning, vara 0,012% respektive 0,018%. Kostnaden för risken har räknats med enligt det som av D-Rail kallas "*Value of preventing a fatality*" samt "*Value of preventing an injury*". Det är däremot intressant att uttrycka risken för dödsolyckor eftersom konsekvensen inta endast är ekonomisk.

5.2 Lastobalans

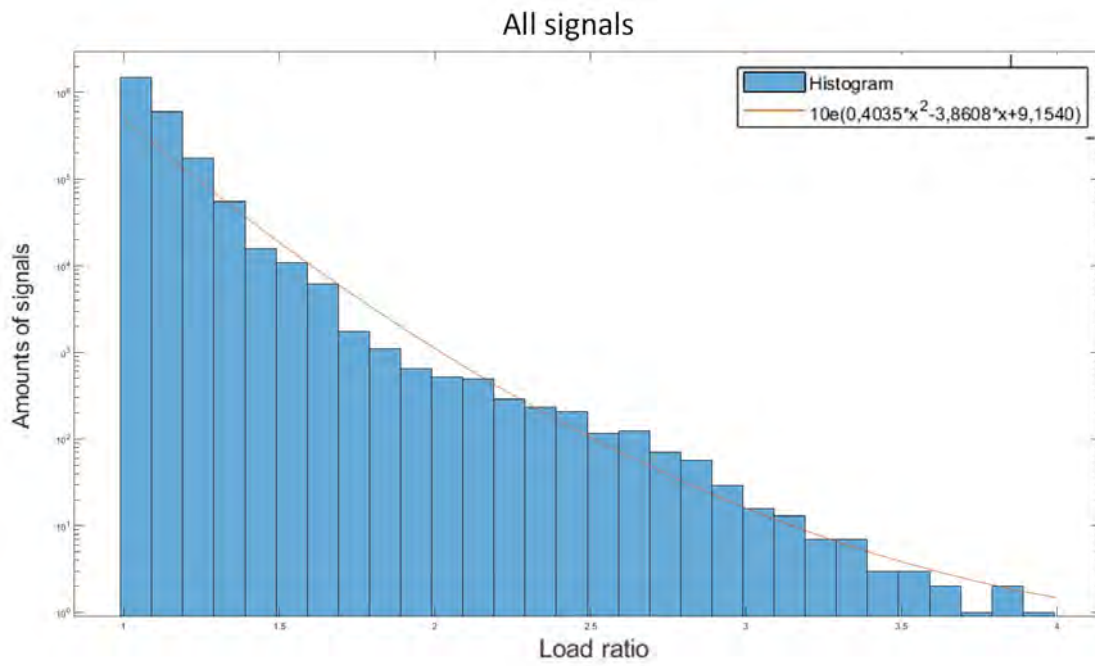
I följande studie eliminerades alla obalanser och tillhörande data för obalanser med en differens högre än 4,0. Elimineringen gjordes på grund av att lastobalanser högre än 4 ansågs orimligt höga och behandlades därför som mätfel eller avvikande värden. Med följande avgränsning uteslöts fem mätvärden från Kolars mätstation. Utöver följande korrektion har inga andra förändringar gjorts på mätdata.

Analys av data visar att antalet larmsignaler minskar logaritmiskt till följd av en högre lastobalans. I 99,77% av fallen kommer lastförhållandet ligga under gränsen för larm på 1.7. I fallen där lastobalansen resulterar i larm, är låga axellaster främsta orsaken 59,13%. Det representeras av tomma vagnar samt lätt lastade. Observera att antalet mätvärden per intervall av axellast varierar då det inte är jämnt fördelade. Mätvärden mellan 5 - 10 ton och 10 - 15 ton är flest med 637 678, respektive 769 962 mätningar utav 2 380 462 mätvärden. Enligt graferna kan också spikar identifieras, som förekommer runt axellaster på 5 - 15 ton. Det identifierades även färre obalanser i intervallet 10 - 15 ton än i övriga intervall. Intervallet utgör 32,35% av mätvärdena, enligt graferna fem och sex i A.1 kan ett tydligt tomrum urskiljas. Tomrummet visualiserar ett färre antal obalanser. Det visar att obalanser förekommer oftare vid låga respektive höga axellaster. Datan visar alltså att medeltunga vagnar är mindre utsatta för lastobalanser.

En sannolikhetskurva anpassades, för att få en fördelning hos snedlasterna. Kurvan motsvarar den procentuella mängden obalanser som uppstår. Ekvationen har formulerats baserat på de mätvärden som har analyserats från Bodsjön och Koler. Ekvation (5.1) nedan motsvarar den framtagna formeln som approximerar fördelningen över Bodsjön och Koler. För att få ett procentuellt förhållande på utfallet, dividerades den allmänna ekvationen med det totala antalet axlar L , för att erhålla ekvationen enligt (5.1). Notera att x i formelerna är lastobalansen och $L = 2\,380\,462$ stycken axlar.

$$\text{Antalet obalanser i procent} = \frac{10^{0,44x^2 - 3,86x + 2,78}}{2,38 * 10^6} \quad (5.1)$$

Ekvationen grundas i ett känt antal mätvärden L där den beskriver hur fördelningen kommer att bli för ett givet värde på lastförhållandet x . Fördelningen kan också beskrivas med en graf enligt nedanstående figur 5.3. Lastförhållanden under larmgränsen kommer att stå för 99,77% av fallen, och larmen står för återstående 0,23%.



Figur 5.3: Andel axlar (%) med lastobalans (φ_{lat}) gällande mätstationerna Bodsjön och Koler

5.2.1 Analys av larmgränsers inverkan

Tabell 5.4: Andel larmande axlar (%) för olika larmgrännivåer gällande Bodsjön och Koler

Larmgräns	Andel larm
1,4	1,63%
1,5	0,90%
1,6	0,35%
1,7	0,23%
1,8	0,16%
1,9	0,12%
2,0	0,09%

Enligt figur 5.3 och tabell 5.4 kommer andelen larm att öka exponentiellt med lägre larmgräns. Vid en höjning av gränsvärdet med 0,1 till 1,8 för larm kommer andelen larm minska med 0,07 procentenheter, från 0,23 % till 0,16 %, en relativ förändring på 30%. En likvärdig minskning av larmgränsen till 1,6 kommer innebära en ökning av andelen larm med 0,12 procentenheter, en relativ förändring på 52%. Tydligast visas den exponentiella utvecklingen vid en ytterligare sänkning till en larmgräns på 1,5; då andelen larm ökar till 0,90%. Ökningen motsvarar en relativ ökning med drygt 290% från den ursprungliga larmgränsen. En likvärdig ökning, till 1,9, kommer utgöra en larmandel på 0,12%. Det innebär en relativ minskning med knappt 50%. Den procentuella förändringen kommer att visa sig i antalet stoppade fordon, kostnaderna för dem samt hur tidskrävande de är.

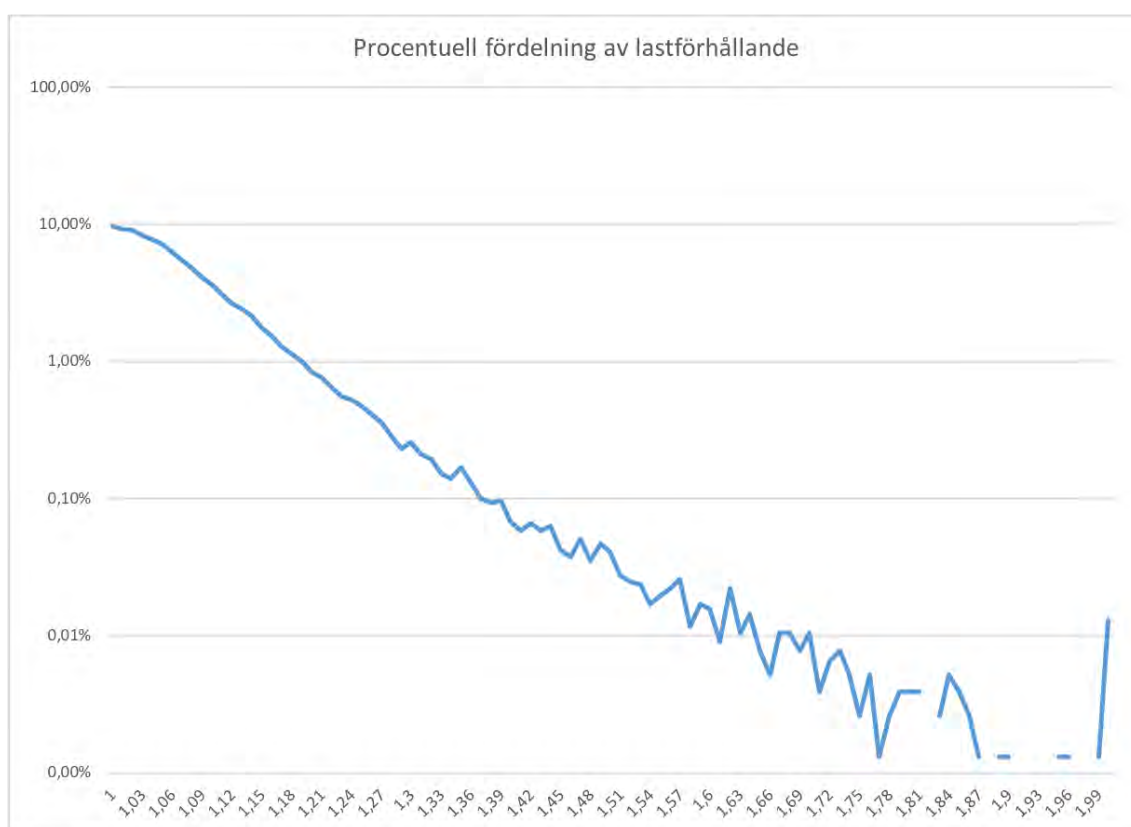
Den ekonomiska inverkan baseras på den uträknade medelkostnaden 1310kr/kg/h för ett stillastående godståg. Det motsvarar 647kr/h, med ett viktsnitt per tåg på ungefär 500ton. Det framkommer också att det under 2016 förekom 20815 signalfel i Sverige, vilket gav upphov till totalt 10 044 förseningstimmar och ett snitt på 0,4825h/stopp. Vårt att notera här är att kostnaden inte tar hänsyn till omkringliggande kostnader, det vill säga företagens förluster och faktumet att slagkraftigheten på transportmarknaden försämras markant då företaget riskerar att få oförutsägbara förseningar.

Slutsatsen som kan dras här är att för varje ökning av larmgränsen kommer relativa in-

verkan på antalet larm att minska. Därför bör den huvudsakliga diskussionen kretsa kring huruvida en höjning av larmgränsen bör genomföras.

5.2.2 Jämförelse mot Österrikiska mätvärden

För att få en jämförelse mot förhållanden i andra länder, analyserades mätvärden från Österrike. Värdena ger, på samma vis som de Svenska, en exponentiell fördelningskurva enligt figur 5.4. Kurvan är likartad den för de Svenska mätvärdena, dock kan det konstateras att fördelningen innehåller en lägre andel höga obalanser. I Österrike överskrider 1% av axlarna en obalans på ungefär 1,2. I Sverige är motsvarande siffra 1,5.



Figur 5.4: Lastförhållandet för Österrike (Paulsson, 2018)

6 Diskussion

6.1 Hur kan riskanalys användas på TKK och Lastobalanser

Ett tidigt mål med rapporten var att finna möjligheter att öka systematiken i riskanalyser för järnvägen. För det här skulle ett eller två särskilda områden undersökas. Trots att huvudsakliga syftet med rapporten har utvecklats med tiden finns det en del att diskutera kring riskanalysens karaktär för det aktuella området.

Problemet med systematisering av en riskanalys som använder sig av tidigare olyckor är att orsaken till en olycka sällan är entydig. Däremot är simuleringar svåra att göra eftersom det ofta ingår många parametrar och en grad av slumpmässighet. Exempelvis är det svårt att räkna sannolikheten att en sten fastnar mellan en spårväxel. Det som däremot har blivit tydligt under arbetets gång är att både för TKK (växlar) och för lastobalans finns ett stort antal olika komponenter och delkomponenter som påverkar säkerheten.

6.1.1 Riskanalys inför beslutsfattande

När förändringar i järnvägsinfrastrukturen ska göras är det viktigt att undersöka vilken påverkan de kommer att ha för säkerheten på järnvägen. Som tidigare formulerat kan säkerhet innebära säkerhet för material, människor eller ekonomi. Det betyder att framkomlighet (ekonomi) och mänsklig säkerhet är båda av stor vikt vid beslut om säkerheten. En ändring i säkerheten kan innebära att säkerheten för människor ställs mot den ekonomiska säkerheten. Vilket gör avvägningar svåra att jämföra, ekonomi kontra skada på människa eller dödsfall. Medan pengar till väldigt stor grad är ordinala, är liv och välmående fenomen svåra att mäta och värdesätta.

Det har tidigare formulerats principer för hanteringen av riskanalyser, där följderna av en risk kan vara svårsmätta. En är principen att de faror som enkelt kan minimeras alltid ska göra det. En annan är att risker som innebär död ska till största grad minimeras.

6.1.2 Viktiga parametrar inom riskanalys

Riskperception är ett viktigt begrepp det talas om järnväg. Om antalet resor som togs med järnvägen vore relaterat till säkerhetsnivån, borde färre köra bil och fler åka tåg. Däremot uppfattas risker som högre av några anledningar. Delvis kan förseningar som utgörs av signalfel uppfattas som att järnvägen inte är lika säker. Det är i normala fall inte sant, utan signalens utlösning är en följd av en säkerhetsåtgärd och är ett tecken på en säkrare järnväg. Utöver det finns det en känsla av kontroll att sitta bakom ratten i en bil. Emellertid är inte det helt sant, då många olyckor beror på yttre faktorer. Det innebär att ökat kontroll inte nödvändigtvis ger högre säkerhet, vilket kan illustreras av det höga antalet singelolyckor inom vägtrafiken. De som kör tåg får utbildning i bland annat säkerhet. Det finns även reglerade säkerhetsåtgärder, bland annat automatiserade signalsystem.

6.2 TKK

Resultatet av hållfasthetsanalysen visar att längre räl kräver en lägre kraft för att böja rälen. Det antyder att användandet av TKK blir viktigare då växeltungan blir längre. Där- emot visar driftsdata att 98,5% av alla larm från TKK:n är på grund av andra orsaker än att den har detekterat ett föremål i växeln. Detta innebär att även om det finns ett viktigt syfte med TKK för att förebygga urspårningar eller skadade räl så innebär dess funktion många ogiltiga signaler.

Kostnadsanalysen visar att förseningar orsakade av TKK:n innebär en uppskattad samhällsekonomisk kostnad på drygt 34 MSEK per år. Det är ett tecken på att även om TKK:n är en bra och säker lösning är den inte driftsäker. Det skulle vara möjligt att helt och hållet plocka bort TKK:n utan några större konsekvenser kostnadsmissigt. Det skulle dock leda till fler urspårningar per år, vilket inte är att rekommendera. Istället bör fokus ligga på att hitta ett system som kan ersätta TKK. Då enkelhet är att föredra skulle problemet kunna lösas med en dynamometer på växeln. Om det kräver större kraft än normalt för att lägga om växeln skulle den larma. Dock medför även denna lösning problem. I dagsläget är växeldriven starka nog för att kunna krossa is eller porösa stenar som hamnar i kläm, något som med TKK:n skulle innebära ett larm. Frågan är då om antalet sådana larm skulle överstiga antalet felsignaler från TKK.

6.2.1 Visar datan att TKK:n behövs?

Bevisligen fyller TKK:n en funktion då inga urspårningar på huvudspår har kunnat identifieras där orsaken varit att växeln inte slutit som den ska. Dock medför TKK:n att det ofta blir stopp för tågtrafiken på grund av att det blir fel på själva enheten. Den data som hämtades från Trafikverket (Trafikverket, 2017) och sammanställdes i rapporten diskuteras. Under 2017 var det totalt fem fall där TKK:n larmade om föremål på spåret, varav snö eller is stod för två av larmen. Snö eller is ska inte vara ett problem för växeldriven utan de ska klara av att lägga växeln i rätt läge ändå. Det medför att det är tre fall under ett år där TKK:n behövs. Utslaget på de 164 miljoner tågkilometer som trafikerades under samma period ger en sannolikhet på $1,8 \times 10^{-8}$ gånger per tågkilometer att en riskfylld händelse inträffa. Det motsvarar ett föremål som förhindrar omläggning av växeln på 54 miljoner kilometer. Det är betydligt vanligare att ett främmande föremål hindrar växels funktion helt. Av de cirka 50 fall av främmande föremål i växlar under 2017 var det endast tre som TKK detekterade, resten förhindrade växels funktion på annat sätt. Andelen av TKK:er som upptäcks blir då cirka 5-10% beroende på om de fall då det främmande föremålet inte kunde identifieras inkluderas eller ej. Notera att det här inte relaterar till någon nedsatt funktion hos TKK:n. Den gör det den är designad för att göra. Om växeln inte kan gå i kontroll för att det är något som hindrar den är det inte TKK:n som ska larma, utan växeldrivet själv. Om däremot växeln går i kontroll utan att hela växeltungan ligger mot stödrälen är det TKK:n som ska larma, vilket den verkar göra. Det talar för att systemet behövs och att det fungerar som tänkt.

Hållfasthetsberäkningar som utförts på spårväxel av modell UIC60(B) visar att med ett standard växeldriv med en omläggningskraft på 6 000 N, finns risk för att rälen deformeras mer än 15 mm när växeltungans längd överstiger 6 m. Det stämmer väl överens med

de tester som SJ utförde 1987 i samband med införandet av TKK (Bednarcik, 1987). Beräkningarna tyder på att en kontrollanordning behövs för att inte främmande föremål ska deformera rälen oupptäckt. Att spårprofilen smalnar av i ovankant närmare tungspetsen borde inte påverka den kraft som behövs för att böja spåret alltför mycket. Det framtagna värdet är i överkant på vad som krävs, den verkliga kraften är troligen något lägre på grund av rälsprofiländringen. Därmed borde den kortast tillåtna längden vara mindre än 5,9 m. Det är dock oklart vilken STH som skulle gälla i en sådan kort växel eftersom TKK-anordningen antas vara irrelevant om hastigheten är lägre än 40 km/h enligt tidigare krav på TKK (Höjsgaard, 2006).

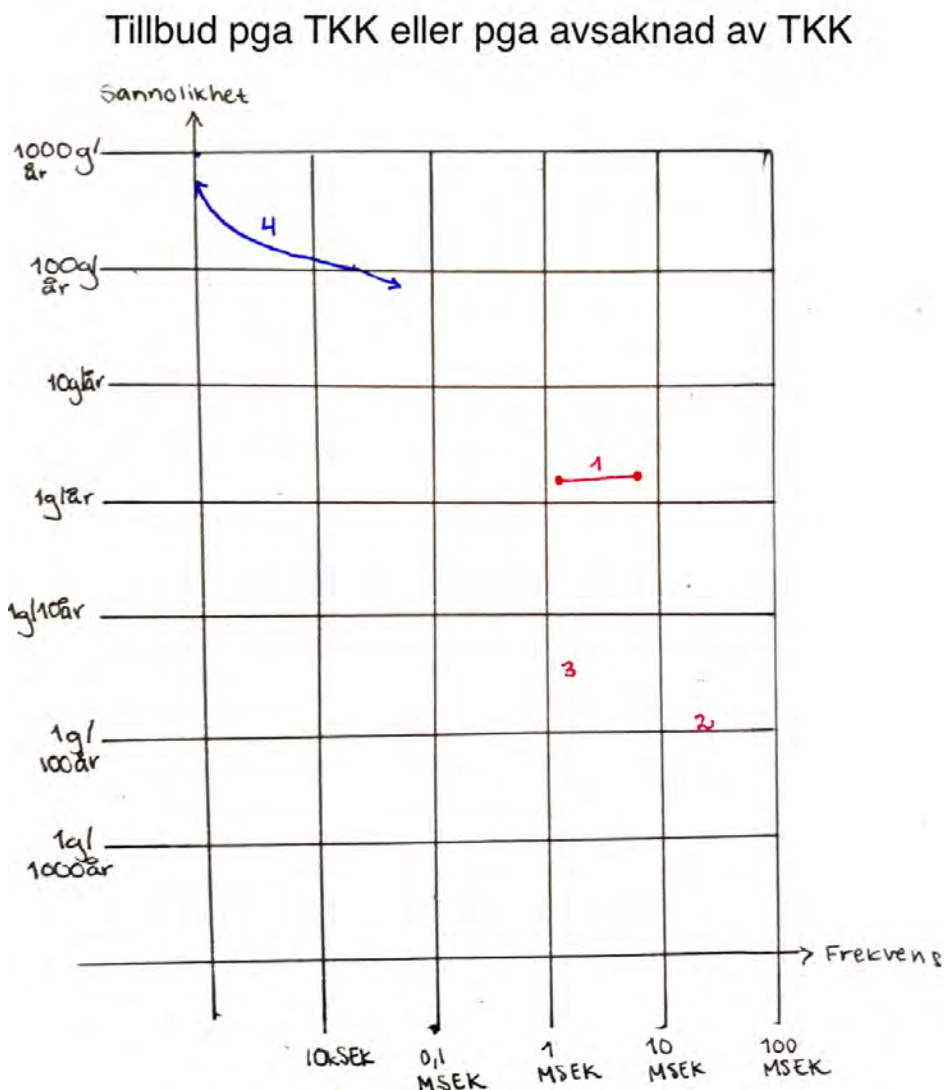
Majoriteten av felorsakerna för TKK var okänd orsak, trasig komponent eller materialutmattning. Det visade sig att i 98,5% av fallen stoppas tågtrafiken över en växel i onödan, vilket i många fall orsakar förseningar och totalt sätt stora kostnader. Baserat på datan över spårväxelfel kan det konstateras att ett giltigt stopp kommer i genomsnitt uppstå cirka en gång per 800:e år per växel utrustad med eTKK2, dock uppstår TKK-fel en gång per 12:e år per växel. På ett giltigt stopp kommer i snitt 66 tåg att ha stoppats i onödan vid andra stopp, och varje stopp kommer bidra till en försening med kostnader som påföljd. Hur väl en TKK fungerar kan illustreras med att ett TKK-fel innebär en onödig försening och att ett giltigt TKK stopp innebär en förhindrad olycka. Således kan kostnader för TKK-fel jämföras med kostnaderna för de olyckor som hade uppstått utan TKK. Medan den mer frekventa förseningen innebär mindre storlek på skadan så kan det osannolika växelfelet innebära en större risk, som exempelvis en urspårning.

De olika tillbudet jämförs i en riskmatris. Inspiration för riskmatrisen hämtas från Davidsson, 2003 förutom att axlarna är helt logaritmiska.

- 1: Urspårning förväntas ske 3ggr/år, orskar en kostnad mellan 1,2 MSEK - 6,2 MSEK per gång (utan indirekta kostnader)
- 2 Ett dödsfall förväntas ske 1 gång per 83 år, där kostnaden blir mer än 20 MSEK
- 3: En allvarlig skada förväntas ske 1 gång per 55 år, där kostnaden blir ungefär 2 MSEK
- 4: Ett ogiltigt stopp förväntas ske 8,3 ggr/år där förseningsavgiften är i snitt 33,76 MSEK. Frekvensen avtar exponentiellt utefter hur många timmar tåget står stilla, vilken är proportionell mot kostnaden.

Riskmatrisen visar att medan förseningarna är flera storleksordningar mer frekventa så är urspårningar dyrare med liknande storleksordning. Att dela upp risken i sannolikhet och frekvens ger en mer fullständig förståelse för risken än att jämföra total kostnad per år. De stora men ofrekventa olyckorna räknas med för sig istället för att läggas till som schablon i den genomsnittliga urspårningskostnaden.

Det krävs fler inverkande faktorer än urspårning för att en olycka ska innebära svår skada på människor eller död. Dock är urspårningar ofta kostsamma eftersom de kräver utryckning och bärgning, samt medför att de påverkade spåren inte kan brukas innan de återställts. Tidigare undersökningar visade att urspårningar där STH är lägre än 40 km/h har ansetts vara acceptabla med avseende på risksituationen (Höjsgaard, 2006).



Figur 6.1: Riskmatris där den blå kurvan motsvarar förseningar till följd av ogiltiga signaler från TKK. De röda siffrorna motsvarar olyckor till följd av att främmande föremål inte upptäckts. Matrisen är ritad av författarna och utgår från teori från Davidsson, 2003.

6.2.1.1 Egendom och ekonomiska faktorer

Resultaten visar att TKK är en säkerhetsåtgärd som innebär samhällsekonomiska kostnader i form av förseningar. Samhällsekonomiska kostnader täcker bland annat sänkt produktivitet. Det som däremot inte räknas med är kostnaden för företag som transporterar gods längs med järnvägen. För att järnvägen ska bli mer slagkraftig för att transportera gods är framkomlighet en viktig faktor. Den sortens kostnadsanalys är dock spekulativ eftersom att kostnader beror på vad som transporteras och hur akut det är att godset kommer fram i tid.

Rent ekonomiskt kostar användningen av TKK 34,3 MSEK per år (Ahlberg, 2015), enbart i förseningskostnader. Dock är inte kostnader för godstrafiken medräknade då det

inte fanns tillräckligt med information för att kunna uppskatta dessa på ett bra sätt. Om förseningskostnaden för godstågen hade kunnat uppskattas skulle kostnaden sannolikt bli mycket större. Utöver förseningskostnaderna tillkommer underhålls- och inköpskostnader för utrustningen. Om det antas att en urspårning i genomsnitt kostar mellan 1,2 - 6,2 MSEK (Vasic, 2012) och att samtliga fall av främmande föremål i växeln leder till urspårning, innebär det en uppskattad årlig kostnad på upp till 19,3 MSEK. Om TKK således helt slutas att användas uppskattas det att de årliga kostnaderna sänkas med cirka 15,2 MSEK.

Kostnaderna för en urspårning är dock till viss del osäkra. Kostnaderna togs fram av en projektgrupp inom D-Rail i syfte att undersöka vilken omfattning olika orsaker till urspårningar innebär för kostnaden. Variationen kan vara stor beroende på land. Dessutom finns en viss del slumpmässighet i analysen, eftersom det är urspårningar som har rapporterats mellan 2005-2010.

Kostnaderna är troligen större om ett godståg spårar ur, framförallt om det är lastat med farligt gods. Dock kan man hävda att det blir fler långsiktiga kostnader om ett passagerartåg spårar ur, delvis för att risken för dödsfall är större jämfört med godståg som inte är lastade med farligt gods och delvis för att järnvägens varumärke kan skadas. Det kan antas att fler personer då åker med bil eller buss vilket kan leda till fler dödsfall då det sker fler olyckor inom vägtrafiken. Detta är ett område för vidare studier.

6.2.1.2 Hälsofaktorer

En åtgärd som kan medföra en ökad fara för människors hälsa är svårmotiverad. För att en säkerhetsåtgärd som TKK ska kunna tas bort ska, enligt de principer som MSB formulerat i sin handbok, inte säkerheten för människor minska. De följder som kan komma att hända i och med den ökade risken måste därför vara av rent ekonomisk karaktär. För att genomföra undersökningen krävs en mer genomgående händelseträdsanalys som kompletteras med ett test eller en simulering.

6.2.1.3 Alternativa lösningar

Alternativa lösningar till TKK skulle till exempel vara att använda ballastfria spår vid nybyggnation för att minimera risken att något hamnar i växeln. Troligtvis skulle det räcka med området närmast växeln. I de flesta av de analyserade fallen har det varit en sten som varit i vägen. Alla fall av främmande föremål i växlar där föremålet kunde identifieras sammanställdes (se D.1). Ur sammanställningen kan det konstateras att stenar står för mer än hälften av alla främmande föremål som förhindrar växelns funktion. Att på något sätt förhindra att stenarna hamnar i spåret kommer därmed att få flera positiva följd effekter, inte bara för TKK. Med det sagt är det troligen inte nödvändigt att helt byta alla växlar till ballastfria. En annan lösning är att på något sätt binda ballasten närmast växeln, till exempel med betong eller asfalt, för att förhindra stenar i växeln. Dock påverkar dessa lösningar inte de fall då det är andra föremål än stenar som hamnar i vägen.

6.3 Lastobalanser

Vid analys av hur olika gränsvärden för lastförhållanden påverkar larmsignaler och stopp, tas hänsyn till hur förändringen förhåller sig till säkerhet och ekonomisk påverkan. De förändringar som kommer jämföras är sänkningen till en larmgräns som signalerar vid lastförhållandet 1,6 och en ökning av gränsen. Fokus ligger kring att jämföra hur ändringen kommer att förändra kostnader och antalet totala stopp, gentemot hur säkerheten påverkas.

6.3.1 Ekonomiska faktorer

Minskning av gränsvärdet till 1,6 kommer öka antalet stopp och även kringkostnader till följd av förseningen. Likvärdigt kommer en minskning ge det motsatta utfallet, ett minskat antal stopp och lägre kostnader. I ett teoretiskt fall med 10 000 tågpassager, kommer antalet tåg som stoppas av en larmsignal öka från 23 stycken till 35, vid fallet av ett minskat gränsvärde- en ökning med 12 tåg. Motsvarande ökning av gränsvärdet, till 1,8, ger vid samma fall en minskning till 16 tåg, en minskning med 7 stycken. Vid beräkning antages genomsnitt för varje stopp till 0,48 h med kostnaden 647 kr/h. Det ger att varje stopp kostar 312 kr, plus alla kringkostnader. Värt att notera är att det här är en kortsiktig samhällsekonomisk kostnad. För att ta hänsyn till långsiktiga kostnader, behöver flera faktorer vägas in och mer information krävs för att genomföra uppskattningen. Processen uppskattas ta väldigt lång tid då datan inte är lättillgänglig. Den medtages därför inte i beräkningarna. Samma tankesätt som tidigare kan användas för att motivera en ytterligare höjning av gränsvärdet till 2,0. Då det kan urskiljas att andelen larm enbart minskar med 0,14 procentenheter, det vill säga från 23 till 9 tåg av 10 000 som stannas. Rent ekonomiskt kommer förändringen fortsatt vara liten. I slutändan kommer det vara säkerhetsavväganden som är den avgörande faktorn.

6.3.2 Jämförelse med Österrikes mätvärden

Resultatet från Österrike (Paulsson, 2018) visade på lägre procentuella andelar för högre lastobalanser, vilket tyder på konsekventare och noggrannare lastning av godset. Om larmgränserna för Sverige appliceras på de mätvärden som kommer från Österrike, blir andelen stopp vid larm markant lägre. Hänsyn bör dock tas till de olika typerna av gods som fraktas i länderna, hur stor andel de olika lasttyperna motsvarar den totala transporten och skillnader i exempelvis löpverk eller axellast. En sänkning av larmgränsen hade likväl i Österrike ökat antalet stopp, men inte i samma utsträckning.

Att sänka larmgränsen kan alltså skärpa lastprocessen och därmed ge lägre utfall på de högre detekterade lastförhållandena likt i Österrike. Det hade lett till ett lägre antal stopp i tågtrafiken. Risker är dock att en sänkt larmgräns istället kan innebära en så pass stor ökning av antalet stopp att förseningarna blir allt fler. Det är redan en siffra som är väldigt hög och som tenderar att hålla företag borta från att börja använda sig av järnvägstransporter.

6.3.3 Samhällsfaktorer

Intressanta ämnen är även hur företag påverkas, samhällets allmänna syn på hur effektiva transporter är på järnväg, samt säkerhetsaspekter. Kostnader uppstår även för företag vid förseningar. Dessa kan ha en stor inverkan långsiktigt. Faktorer som osäkerhet kring punktlighet påverkar även företagen då det ofta är viktigt för den interna processen att undvika förseningar. Järnvägens fördelar rent miljö- och kostnadsmässigt hamnar därför ofta i skuggan av osäkerhetsfaktorer som är svåra att undvika, men som likväl är de som ofta kommer att vara avgörande faktorer vid val av transportmedel. Därav kommer ett minimalt antal stopp öka järnvägens attraktion på marknaden.

6.3.4 Förenklingar och antaganden i genomförandet

Vad som bör tas i åtanke är att undersökningen enbart har genomförts på två mätstationer, där bägge har samma typ av transport. För att göra undersökningen mer generell och exakt skulle det behövas fler mätstationer.

Psykologi kan innebära att förändringar som görs leder till ett beteende som inte är det som förväntats. Vid en eventuell ökning av gränsvärdet för lastförhållande, kan det ge uppfattningen om mindre strikta förhållanden vad gäller lastning. Konsekvensen skulle i så fall bli att lastobalansen skulle öka. Resultatet kan leda till slarvigare lastprocesser istället för ett sänkt antal stopp. Likväl kan en skarpare gräns leda till mer noggranna lastningar, vilket kan sänka andelen stopp.

6.3.5 Kan riskanalysen för lastobalanser systematiseras?

Tolkningen av risksituationen som görs i denna rapport utgår ifrån en empirisk samling av tidigare larm för lastobalans. Det är, som tidigare diskuterat, ett vanligt sätt att hantera data på järnvägen. FEM beräkningar och andra hållfasthetssimuleringar skulle kunna vara ett sätt att bättre undersöka riskerna för lastobalanser. Däremot finns många ingående parametrar, och därför är det av stor vikt att avgränsningen inte ger upphov till underskattningar eller överskattningar av risken.

Det resultat som går att få av den urspåringsstatistik som har behandlats i denna rapport är att larmen har resulterat i många förseningstimmar. Det som däremot inte har formulerats är hur många urspårningar som skett i Sverige under samma tid till följd av lastobalans. En sökning på statens haverikommissionens hemsida gav inga resultat under 2016 för lastobalanser som orsakat urspårning.

Fallstudierna i Wien (European Railway Agency, 2007; European Railway Agency, 2008) visar att lastobalans kan vara en faktor till urspårning då lastobalanser på 2,44 och 2,59 uppmättes. Fallstudierna visar att även om lastobalans är en bidragande faktor vid urspårning, är ett lastförhållande på 1,7 väldigt mycket mindre än ett lastförhållande på 2,44. Det finns med andra ord utrymme för ekonomiska besparingar om ett högre lastförhållande införs. Det är dock svårbedömt utan vidare studier, därför bör grundligare studier genomföras vilka omfattar fler mätstationer både nationellt och internationellt.

För att göra en komplett riskanalys skulle testningar eller simuleringar behöva genomföras. Först ska de variabler som är av värde testas. Sedan måste resultatet tolkas. I vilka

situationer är en urspårning farlig? Finns det vissa urspårningar som inte kan accepteras? Sedan måste konsekvensen av de acceptabla urspårningarna kvantifieras.

Problemområden som lyftes i teorin är rälsförhöjning och olika lasttyper. För båda är hastighet en avgörande faktor. Vid lutande spårgeometri är rälsförhöjningen anpassad efter de snabba persontågen. Rälsförhöjningen är baserad på den centrifugalkraft som uppstår när ett tåg passerar kurvan i den angivna hastigheten. Det beror på att persontåg har generellt högre hastighet. En annan variabel som nämns är vibrationer som skapas när tågen är i rörelse. Storleken på dessa och hur dessa påverkar lasten är en stor osäkerhet. En vidare studie skulle kunna vara att undersöka vilken storlek på lastobalans som kan ackumuleras då vagnar som lastas på i enlighet med UICs rekommendationer kör en viss sträcka.

Alternativa lösningar kan vara att införa lägre krav för tåg som färdas i lägre hastighet. Eftersom kurvor är säkrare att köra igenom med den rekommenderade hastigheten, som vanligtvis är högre, skulle det inte gälla där. Det skulle kunna minska antalet tåg som stoppas vid larm och inte vara särskilt kostsamt.

7 Rekommendationer

7.1 TKK

Det är svårt att rekommendera en lösning som ökar olycksrisken då det kan uppfattas negativt från i stort sett alla synvinklar än den ekonomiska. Då det väldigt sällan inträffar en incident som en TKK skulle kunna förebygga innebär en borttagning av kontrollen en markant besparing av förseningskostnader, underhåll och inköp. Det är dock svårt att mäta kostnaden för urspårningar på förhand, då det kan uppstå flera konsekvenser av urspårning utöver de direkta kostnaderna. Det är dock ett strikt ekonomiskt synsätt.

Slutsatsen blir följaktligen att det blir svårt att eliminera TKK:n helt då det både strider mot Rimlighetsprincipen (Davidsson, 2003) och Sveriges Ingenjörers hederskodex (Sveriges Ingenjörer, 2018). Därför bör fortsatt forskning inriktas på att hitta ett mer robust alternativ till TKK, då dagens lösning är säker men har en orimligt hög felfrekvens. Fram tills en ny lösning har tagits fram rekommenderar vi en fortsatt användning av TKK.

7.2 Lastobalanser

Från studien ser vi att en höjning av larmgränsen leder till ekonomiska besparingar, vilka dock kommer vara små i förhållande till den ökade säkerhetsrisken. Osäkerheten kring hur efterfrågan på tågtransporter kan påverkas av en förändring gör att det inte heller här kan argumenteras tillräckligt starkt för en höjning. Samtidigt har inte data använts för olyckor, utan enbart för detekterade mätvärden.

Istället bör en grundligare undersökning genomföras, med ett större antal mätvärden på fler mätstationer runt om i landet. I analysen var det ett fåtal mätstationer som data samlades in från och de anses inte helt säkert representera hela landets järnvägstrafik, än mindre internationellt. Utöver Sveriges mätvärden, bör andra länders data och information hur hantering av lastning och obalanser också beaktas. Ytterligare rekommenderas att lastningsprocessen i Sverige granskas. Det eftersom både Sverige och Österrike följer samma riktlinjer för lastningen, men Österrikes genomsnittliga lastförhållande är ändå lägre.

En fortsatt studie krävs för att säkerställa rekommendationen eller för att utveckla nya förbättringsområden. Rekommendationen innebär att larmgränsen enbart höjs för axellast på under 15 ton eftersom dem inte riskerar att flänsklättra eller spåra ur i samma utsträckning som de tungt lastade vagnarna. Mätstationerna idag är utrustade med sensorer för att mäta lasten på vardera sida av vagnen. Det gör att det inte skulle krävas någon ny installation av utrustning.

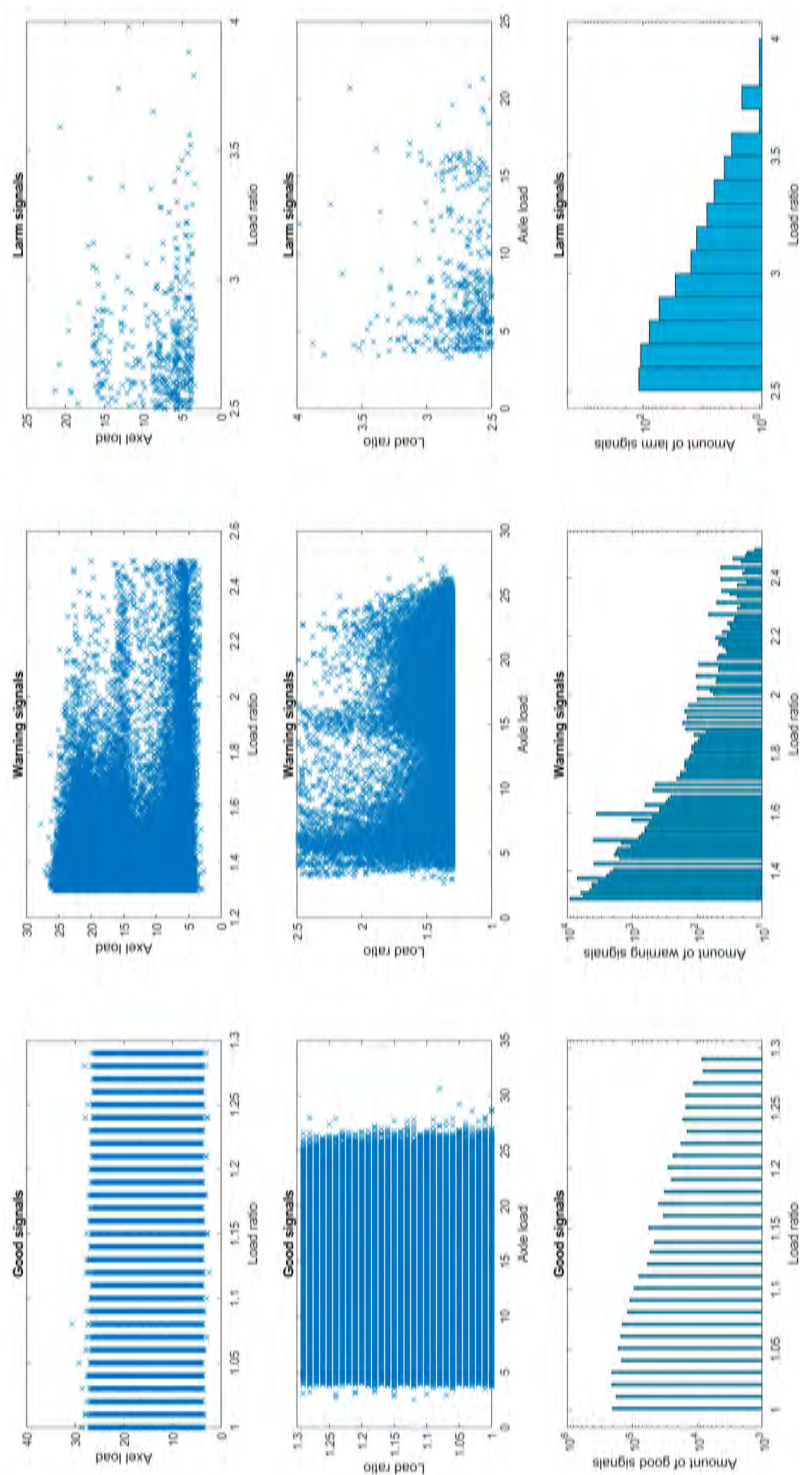
Litteratur

- Afterbrunel. (2013). Wheel and rail flange climbing. Liscenserat under CC BY-SA 3.0. Wikimedia Commons. Hämtad 21 april 2018, från https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wheel_and_rail_flange_climbing.gif
- Ahlberg, J. (2015). *Kostnader för störningar i infrastrukturen*. Statens Väg- och Transportforskningsinstitut. MSB.
- Ahlquist, A. (2018). email. Personlig kommunikation.
- Alguacil, Á. (2018). Personlig kommunikation.
- Bednarcik, I. (1987). *UIC60-Växlar, gångdynamik*. Maskinavdelningen. Statens Järnvägar.
- Brandström, J. & Stridsberg, M. (2016). *TSG 2014-1472 - Transportmarknaden i siffror*. Väg- och järnvägsavdelningen. Transportstyrelsen.
- British Railways. (1992). *Electrical detection and power operated points*. 1. utg. British railways signalling projects group.
- British Steel. (2017). Special Rail. Hämtad 17 april 2018, från <https://britishsteel.co.uk/media/40811/special-rail-dimensions-and-properties.pdf>
- Davidsson, G. (2003). *Handbok för riskanalys*. Hämtad 23 januari 2018, från <https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/18458.pdf>
- Dindar, S., Kaewunruen, S. & An, M. (2016). *Identification of appropriate risk analysis techniques for railway turnout systems*. Faculty of Engineering, School of Civil Engineering, University of Birmingham, Birmingham, UK. Journal of Risk Research. doi:<https://doi.org/10.1080/13669877.2016.1264452>
- Ekberg, A. (2013). *Development of the Future Rail Freight System to Reduce the Occurrences and Impact of Derailment*. D-Rail. Hämtad 30 januari 2018, från http://d-rail-project.eu/IMG/pdf/DR-D3-1-F1-Analysis_of_derailment_causes_impact_and_prevention_assessment-v3.pdf
- European Railway Agency. (2007). Train derailment, 09/09/2007, Station Wien Donaukaibahnhof [Railway vehicle movement events Train derailment]. Hämtad 20 februari 2018, från <https://erail.era.europa.eu/occurrence/AT-678-6-1/Train-derailment,-09-09-2007,-Station-Wien-Donaukaibahnhof,-Track-Glei/Summary/ERAIL-PUBLIC>
- European Railway Agency. (2008). Train derailment, 22/10/2008, Wien Zentralverschiebebahnhof [Railway vehicle movement events Train derailment]. Hämtad 20 februari 2018, från [https://erail.era.europa.eu/occurrence/AT-679-6-1/Train-derailment,-22-10-2008,-Wien-Zentralverschiebebahnhof-\(Austria\)/Summary/ERAIL-PUBLIC](https://erail.era.europa.eu/occurrence/AT-679-6-1/Train-derailment,-22-10-2008,-Wien-Zentralverschiebebahnhof-(Austria)/Summary/ERAIL-PUBLIC)
- Eurostat. (2016). Railway safety statistics. Eurostat. Hämtad 15 februari 2018, från http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Railway_safety_statistics
- Federal Railroad Administration. (2016). 2.09 - Train accidents and rates. Federal Railroad Administration Office of Safety Analysis. Hämtad 16 februari 2018, från <http://safetydata.fra.dot.gov/OfficeofSafety/publicsite/Query/TrainAccidentsFYCYWithRates.aspx>
- Fehrlund, L. (2018). Personlig Kommunikation. Green Cargo.

- Franklin, F., Gilmartin, B., Kozyr, G., Lafaix, B., Ripke, B., Robinson, M., . . . Zarembski, A. (2011). *Summary report and database of derailments incidents*. D-Rail. Hämtad 1 februari 2018, från http://d-rail-project.eu/IMG/pdf/DR-D1-1-F1-Summary_Report_and_Database_of_derailment_incidents_20120405.pdf
- Höjsgaard, T. (2006). B05-4506/Si10 - Krav eTKK. Banverket.
- Isaksson, J. (2017). Personlig kommunikation. Trafikverket.
- Kaplan, S. & Garrick, B. J. (1981). *On the Quantative Definition of Risk*. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1981.tb01350.x>
- Lövgren, S. & Lindeberg, P.-A. (2006). *Mätning på eTKK Ålsäng 2005-12-14* (Nr eTKK 06009). Banverket.
- Meyer, J.-E. (2015). *BVH 1523.016 - Spårväxel Tungkontrollkontakt eTKK2 mTKK, Projektering, montering, justering och underhåll*. Trafikverket.
- Paulsson, B. (2018). Privat kommunikation.
- Pålsson, B. (2017). Sammanställning av Snedlastdata.
- SFS 2004:519. (2004). Stockholm: Justitiedepartementet. Hämtad 12 april 2018, från https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/SFS_2004:526.
- SFS 2004:526. (2004). Stockholm: Justitiedepartementet. Hämtad 12 april 2018, från https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/Sveriges-Ingenjorer_2018.
- Sveriges Ingenjörer. (2018). Hederskodex. Hämtad från <https://www.sverigesingenjorer.se/Om-forbundet/Sa-tycker-vi/hederskodex/>
- TCRP. (2012). *Track Design Handbook for Light Rail Transit (Part C)*. Transit Cooperative Research Program. Hämtad från http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp_rpt_57-c.pdf
- Trafikanalys. (2016). *Godstransporter i Sverige - en nulägesanalys*. Hämtad 23 januari 2018, från https://www.trafa.se/globalassets/rapporter/2016/rapport-2016_7_godstransporter-i-sverige---en-nulagesanalys.pdf
- Trafikverket. (2015a). *TDOK 2014:0240 Säkerhetsbesiktning av fasta järnvägsanläggningar*.
- Trafikverket. (2015b). Trafikverkets detektorsystem. Hämtad 21 maj 2018, från https://www.trafikverket.se/contentassets/aa399d15a6d94be48023a6efc62b1aea/trafikverkets_detektorsystem_151210_detektorer_tlo.pdf
- Trafikverket. (2017). Infracel och tågstörande fel, Utdrag ur LUPP.
- Trafikverket. (2018a). December 2017-januari 2018, Trafikvolym järnväg. Hämtad 17 april 2018, från <https://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/Rapporter/Manatlig-trafikrapport/Trafikvolym-jarnvag/Statistikarkiv/Arkiv/december-2017-januari-2018-trafikvolym-jarnvag/>
- Trafikverket. (2018b). Lupp uppföljningssystem. Hämtad 24 maj 2018, från <https://www.trafikverket.se/tjanster/system-och-verktyg/forvaltning-och-underhall/Lupp-uppfoljningssystem/>
- Trafikverket. (2018c). Personlig Kommunikation.
- Transportstyrelsen. (2014). Transportstyrelsen. Hämtad 13 april 2018, från <https://www.transportstyrelsen.se/globalassets/global/jarnvag/vagledning/godkannande/vagledning-csm-riskvardering-tsg-2014503.pdf>
- Transportstyrelsen. (2017). Säkerhetsrapport järnväg.
- UIC. (2015). *Harmonization – Running Behaviour and Noise on Measurement Sites*.

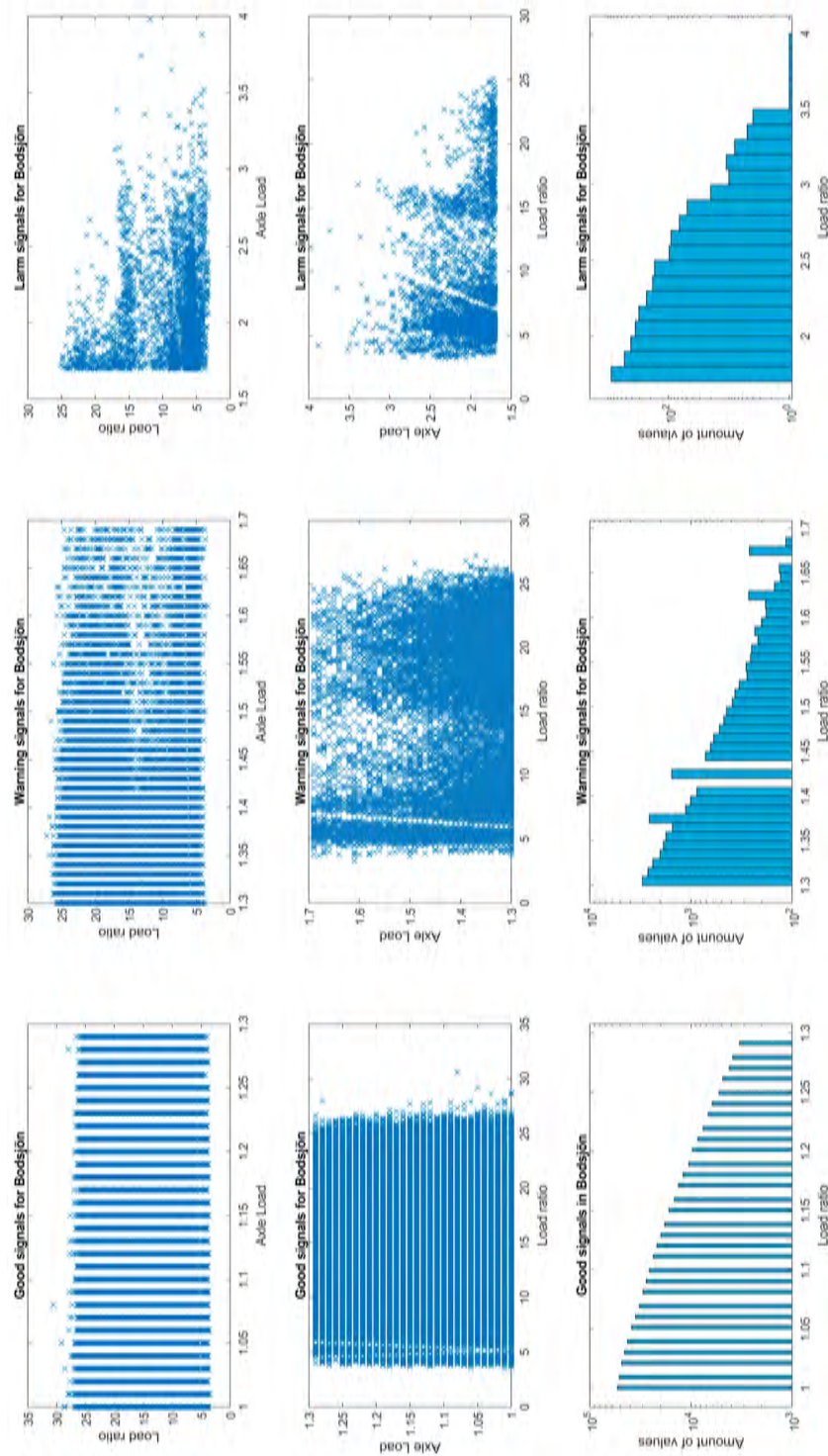
- Union Pacific Railroad. (2016). *Intermodal General Loading Guidelines*. Hämtad 13 april 2018, från https://www.up.com/cs/groups/public/@uprr/@customers/documents/up_pdf_natedocs/pdf_dam-prev_intermodal-load.pdf
- U.S. Department of Transportation Federal Railroad Administration. (2011). *FRA Guide for Preparing Accident/Incident Reports*. 1. utg. Office of Railroad Safety.
- Vasic, G. (2012). *D1.2 Report on Derailment Economic Impact Assessment*. D-Rail. Hämtad 2 februari 2018, från http://d-rail-project.eu/IMG/pdf/DR-D1-2-Report_on_Derailment_Economic_Impact_AssessmentFinal-v1.pdf
- Voestalpine. (2018). EPD 4.0. Hämtad 17 april 2018, från <http://www.voestalpine.com/signaling/en/products/EPD-4.0/>

A Sammanställning signaler för lastbalanser



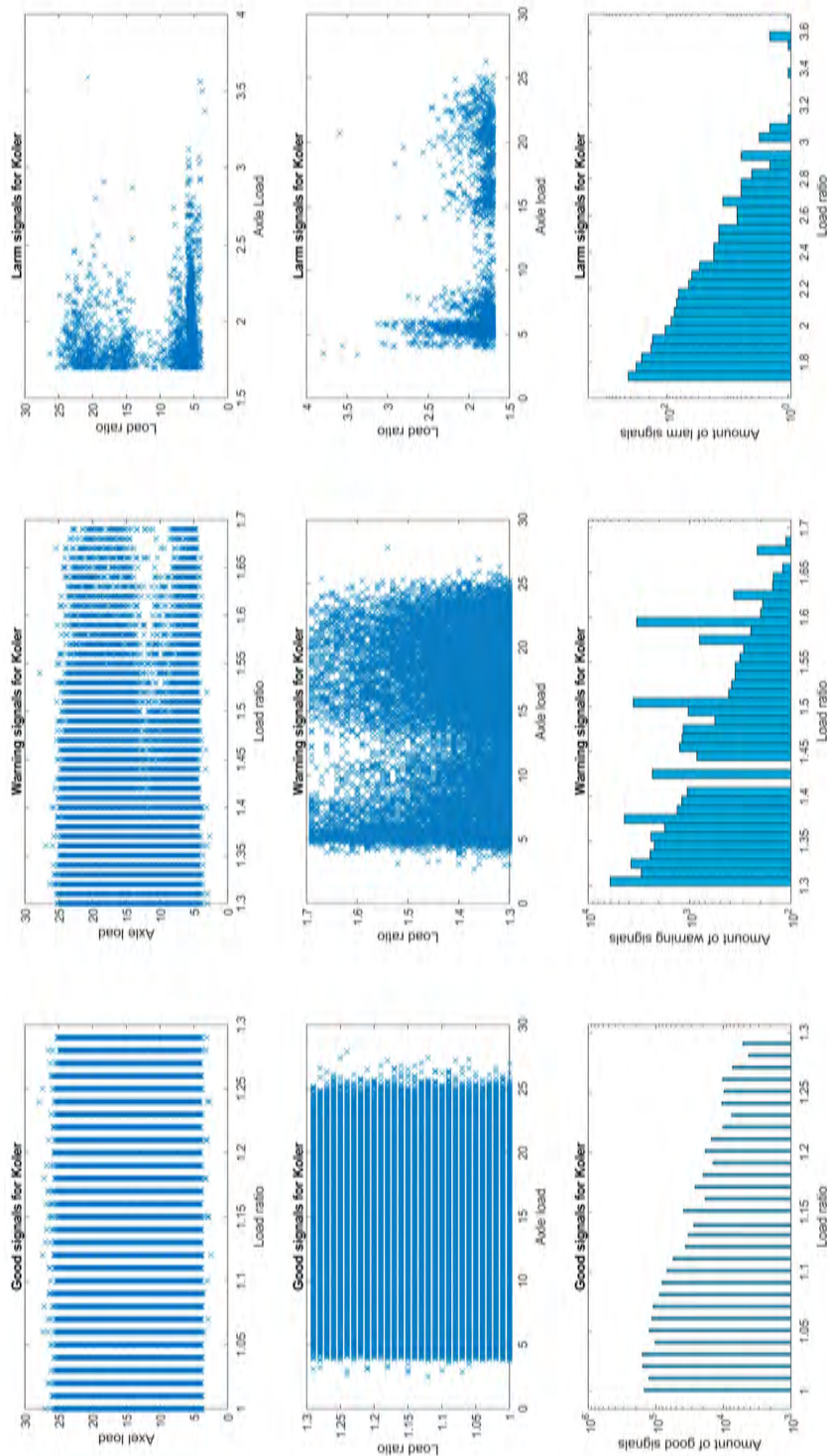
Figur A.1: Sammanställning av mätvärden för alla mätstationer, numrering för graferna är ett till nio från vänster till höger. Graferna är i liggande format.

B Sammanställning signaler för lastbalanser i Bodsjön



Figur B.1: Sammanställning av Bodsjöns mätvärden, numrering för graferna är ett till nio från vänster till höger. Graferna är i liggande format

C Sammanställning signaler för lastbalanser i Koler



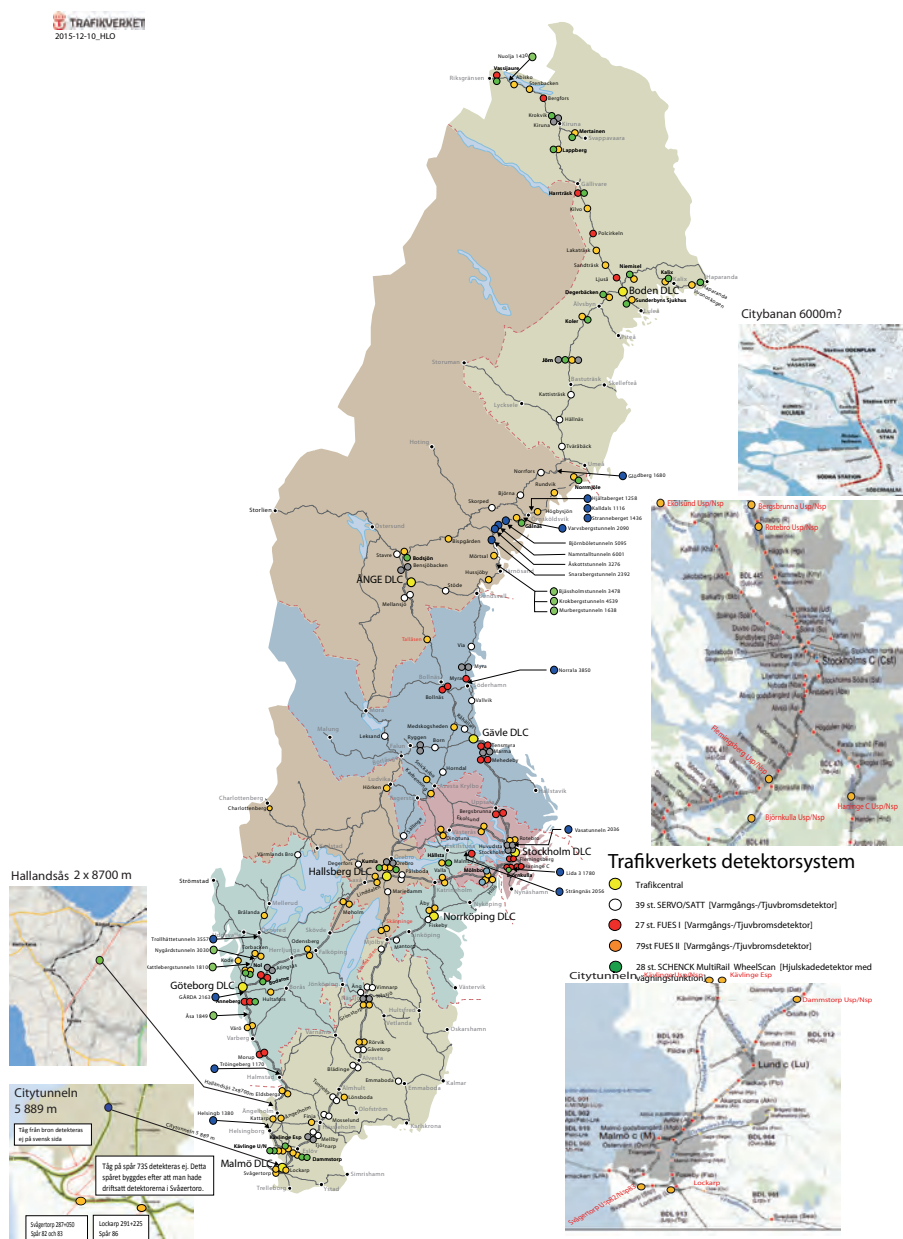
Figur C.1: Sammanställning av Koler's mätvärden, numrering för graferna är ett till nio från vänster till höger. Graferna är i liggande format.

D Lista över främmande föremål i spår- växlar 2017

Felrapport	Händelseid	Anmält datum	Plats fr (G)	Verkligt fel	Felbeskrivning	Felorsak	Orsaksbeskrivning	Åtgärd	Åtgärdsbeskrivning
FR01020505	H2116009	2017-01-03 22.48	Stockholm C	Materialbrott	-	Främmande föremål	Sten mellan stödräl och räls	Rensning	-
FR01020821	H2116987	2017-01-04 20.19	Torbacken	Ej möjligt att definiera	-	Främmande föremål	Importis mellan tunga och stödräl	Rensning	-
FR01021540	H2119259	2017-01-07 07.46	Köping	Dålig kontakt	gick ej lägga höger	Främmande föremål	sten mellan tunga o räl	Rensning	-
FR01021802	H2120155	2017-01-08 17.42	Moholm	Ej möjligt att definiera	Makadamsten mellan tunga & stödräl	Främmande föremål	-	Rensning	-
FR01021850	H2120320	2017-01-09 00.00	Fosieby	Dålig kontakt	Packad snö mellan tunga och stödräl	Främmande föremål	Dålig kontakt på triakdonen, lös pga vxl värme ej fungerade	Justering	-
FR01022696	H2123577	2017-01-12 11.00	Södertälje syd	Felmanöver	Växel 112 ej höger	Främmande föremål	matningskabel	Rensning	-
FR01023785	H2128070	2017-01-18 13.52	Trelleborg	Ej möjligt att definiera	-	Främmande föremål	Makadambit låg i växel.	Kontroll	-
FR01024533	H2130589	2017-01-22 12.43	Diö	Avbrott	Ej kontroll hö	Främmande föremål	troligen isklump mellan tunga/stödräl	Rensning	-
FR01026203	H2138206	2017-02-02 03.57	Trelleborg	Inget fel	-	Främmande föremål	Makadamsten mellan tunga och stödräl	Rensning	-
FR01026708	H2140600	2017-02-06 09.24	Malmö c	Dålig kontakt	-	Främmande föremål	Skråg mellan tung och stödräl. Dålig kontakt mellan tunga stödräl pga	Rensning	rensning samt smörjning av glidplattor
FR01026757	H2140744	2017-02-06 13.02	Älmhult	Dålig kontakt	Stenar mellan tunga och stödräl	Främmande föremål	grus imellan.	Rensning	Tagit bort stenar
FR01027238	H2142836	2017-02-08 21.09	Örebro c	Inget fel	Växel 170 ar trög	Främmande föremål	-	Reparation	Sten borttagen samt vxl uppsmord
FR01027317	H2143256	2017-02-09 10.24	Hästveda	Dålig kontakt	Vx ur kontroll i hö-läge	Främmande föremål	Sten mellan tunga och stödräl vid Tkk Växelvärmens saknade klämmor till att hålla ner den från tungan. Kom därför	Rensning	-
FR01027489	H2143966	2017-02-10 08.36	Göteborgs c	Ej möjligt att definiera	Gick ej i kontroll i vänsterkörning	Främmande föremål	emellan tungan och stödräl	Återställning	Ei satte dit en ny/nya klämmor
FR01028817	H2150051	2017-02-18 17.39	Älvsjö	Avbrott	-	Främmande föremål	makadam	Rensning	-
FR01029576	H2153023	2017-02-22 17.00	Katrineholms c	Dålig kontakt	Ej kontroll vänster växel 107	Främmande föremål	En sten låg i kläm i spetsdrivet.	Rensning	Borttagning av en sten
FR01029667	H2153468	2017-02-23 06.18	Umeå	Ej möjligt att definiera	-	Främmande föremål	-	Rensning	Makadamsten mellan tunga stödräl.
FR01029786	H2153849	2017-02-23 13.42	Kumla	Avbrott	-	Främmande föremål	stenar mellan tunga o stödräl	Rensning	-
FR01030259	H2155443	2017-02-25 11.47	Herrljunga	Avbrott	Makadamsten mellan tunga och stödräl.	Främmande föremål	-	Rensning	-
FR01030292	H2155571	2017-02-25 19.07	Hyllie	Inget fel	Skröt som fastnat mellan tunga och stödräl	Främmande föremål	-	Rensning	-
FR01030576	H2156827	2017-02-28 03.43	Stockholm C	Avbrott	-	Främmande föremål	Sten mellan tunga och stödräl.	Rensning	-
FR01031231	H2160053	2017-03-03 20.31	Hallstahammar	Avbrott	Växel 106 ej kontroll Vänster. Stora figollisjok blåst ner i mellan tunga och räl så vx ej gick att få i kontroll, rensat bort	Främmande föremål	och stödräl.	Rensning	Stenar borttagna och växeln provkörd.
FR01031352	H2160606	2017-03-05 07.19	Helsingborg c	Avbrott	-	Främmande föremål	-	Rensning	-
FR01031502	H2161166	2017-03-06 07.26	Helsingborg c	Djur	rättta i kläm mellan tunga-stödräl	Främmande föremål	-	Rensning	-
FR01031695	H2161846	2017-03-06 22.57	Jörn	Inget fel	-	Främmande föremål	-	Rensning	Balast sten fastnat mellan
FR01031698	H2161859	2017-03-06 23.20	Moholm	Avbrott	Växel ej i kontroll vänster	Främmande föremål	-	Rensning	Rensat bort makadam
FR01032211	H2163932	2017-03-09 00.11	Huddinge	Ej möjligt att definiera	-	Främmande föremål	Makadam mellan tunga och stödräl	Rengöring	Rensning
FR01032215	H2163958	2017-03-09 00.52	Gävetorp	Dålig kontakt	Växel 105 ur kontroll vänster	Främmande föremål	Makadamsten mellan tunga och stödräl	Rensning	-
FR01032318	H2164329	2017-03-09 11.14	Vålberg	Avbrott	Vxl 2a ej kontroll höger	Främmande föremål	Sten mellan tunga och stödräl	Rensning	Tog bort stenen
FR01032563	H2165533	2017-03-10 18.01	Löten	Deformering	-	Främmande föremål	-	Rensning	1 sten va klämd mot driv 1 snöskydd
FR01032672	H2166057	2017-03-11 17.32	Örebro c	Inget fel	Lerkulmpar låg mellan tunga stödräl så växeln ej gick i kontroll	Främmande föremål	-	Rensning	Rensning av lerkulmpar
FR01033276	H2168510	2017-03-15 14.25	Stockholm C	Avbrott	vxl ej i kontroll	Främmande föremål	metallbit finns mellan tunga å stödräl	Rensning	tog bort bilen och smorde roten på vxl
FR01033370	H2168975	2017-03-16 04.29	Jönköpings c	Inget fel	-	Främmande föremål	Makadamsten i Växel.	Rensning	-
FR01033474	H2169359	2017-03-16 13.38	Ärlöv	Inget fel	-	Främmande föremål	Nedskräpning	Rensning	En bit ståltråd låg imellan tunga och stödräl.
FR01033621	H2170146	2017-03-17 11.30	Biskopstorp	Deformering	-	Främmande föremål	-	Rengöring	-
FR01033842	H2171173	2017-03-19 16.09	Stockholm C	Ej möjligt att definiera	-	Främmande föremål	Pressening mellan tunga stödräl	Rensning	Kontroll
FR01033995	H2171796	2017-03-20 13.58	Ålgårås	Avbrott	Växel 22b ur kontroll i vänster	Främmande föremål	Makadamsten mellan tunga och räl	Rensning	Makadamsten bortplockad.
FR01034522	H2174575	2017-03-23 17.23	Stockholm C	Dålig kontakt	-	Främmande föremål	-	Rensning	Makadam mellan tunga oc stödräl Tagit bort makadamsten mellan tunga och stödräl.
FR01035006	H2176535	2017-03-27 01.49	Kummelby	Rost	Växel 108 ej höger Kummelby	Främmande föremål	Makadamsten mellan tunga och stödräl.	Rensning	-
FR01035253	H2177473	2017-03-28 05.44	Tollkberget	Dålig kontakt	-	Främmande föremål	En gren hade blåst in i tungdelen stern mellan tunga och stödräl samt	Rensning	-
FR01035564	H2178642	2017-03-29 14.57	Notviken	Ej möjligt att definiera	-	Främmande föremål	våldigt torra glidplattor. Defekt TKK samt främmande föremål mellan tunga och stödräl vid omläggning i högerläge.	Rensning	Rensning och smörjning. Utbyte av TKK och borttagande av främmande föremål. Samt omstart av utdel till växel 106.
FR01028852	H2150166	2017-02-19 05.42	Jakobsberg	Dålig kontakt	Utbyte av TKK4	Komponent trasig	-	Utbyte av enhet	-

Figur D.1: Alla främmande föremål i växlar under 2017 (Trafikverket, 2017)

E Karta över Trafikverkets detektorer i Sverige



Figur E.1: Trafikverkets detektorer och dess placeringar i Sverige (Trafikverket, 2015b).

F Matlab kod för att analysera böjning av växeltunga

```
clf
L= linspace(5.9,30);

E = 210e9;
I = (7.412e-6);
d = 0.015;

F =@(L) 768*E*I*d ./ (2*7*(L.^3)) ./1000;

plot(L,F(L),'LineWidth',2);
grid on
grid minor
hold on
xlabel('Length [m]')
ylabel('Force [kN]')
title('\fontsize{24}Maximal force [kN] for switch movement maximal
bending displacement [\delta] = 15 mm')
axis([5.5 20 0 7])
hold off

F=6000;
op1 = 768*E*I*d ./ (2*7*F) ;
L = nthroot(op1 , 3)

L =

    5.9764
\color{black}
```


G Matlab kod för att tolka, plotta och sortera lastobalanserna för mätstationer i Bodsjön och Koler

Contents

- Script information
- importering av värden
- Sammanställning av kolers värden
- Sammanställning av Bodsjöns värden
- Weight distribution
- All signals
- Koler signals
- Bodsjon signals
- Plottande
- Koler
- Bodsjon
- Linjen

Script information

Följande script avser att plotta och sortera lastobalanserna för mätstationerna Bodsjön och Koler.

```
load Axeldata2016;
```

importering av värden

```
OccurredDateTime = Axeldata2016{:,1};  
Detektor = Axeldata2016{:,2};  
Meddelandetyp = Axeldata2016{:,3};  
Detektortyp = Axeldata2016{:,4};  
AxleNumberFromFrontOfTrain = Axeldata2016{:,5};  
AxleLoad = Axeldata2016{:,6};  
LeftRightLoadRatio = Axeldata2016{:,7};  
LeftWheelDamageMeanValue = Axeldata2016{:,8};  
RightWheelDamageMeanValue = Axeldata2016{:,9};  
LeftWheelDamagePeakValue = Axeldata2016{:,10};  
RightWheelDamagePeakValue = Axeldata2016{:,11};  
LeftWheelDamageDistributedLoadValue = Axeldata2016{:,12};  
RightWheelDamageDistributedLoadValue = Axeldata2016{:,13};
```

G. Matlab kod för att tolka, plotta och sortera lastbalanserna för mätstationer i Bodsjön och Koler

```
Koler = zeros(height(Axeldata2016),9);  
Bodsjon = zeros(height(Axeldata2016),9);
```

```
L = height(Axeldata2016);  
LK = length(Koler);  
LB = length(Bodsjon);
```

Sammanställning av kolers värden

```
for i = 1:length(Detektor)  
    if Detektor(i) == 'Koler HJ'  
        Koler(i,1) = AxleNumberFromFrontOfTrain(i);  
        Koler(i,2) = AxleLoad(i);  
        Koler(i,3) = LeftRightLoadRatio(i);  
        Koler(i,4) = LeftWheelDamageMeanValue(i);  
        Koler(i,5) = RightWheelDamageMeanValue(i);  
        Koler(i,6) = LeftWheelDamagePeakValue(i);  
        Koler(i,7) = RightWheelDamagePeakValue(i);  
        Koler(i,8) = LeftWheelDamageDistributedLoadValue(i);  
        Koler(i,9) = RightWheelDamageDistributedLoadValue(i);  
    end  
end  
Koler(~any(Koler,2), :) = [];
```

Sammanställning av Bodsjöns värden

```
for i = 1:length(Detektor)  
    if Detektor(i) == 'Bodsjön HJ'  
        Bodsjon(i,1) = AxleNumberFromFrontOfTrain(i);  
        Bodsjon(i,2) = AxleLoad(i);  
        Bodsjon(i,3) = LeftRightLoadRatio(i);  
        Bodsjon(i,4) = LeftWheelDamageMeanValue(i);  
        Bodsjon(i,5) = RightWheelDamageMeanValue(i);  
        Bodsjon(i,6) = LeftWheelDamagePeakValue(i);  
        Bodsjon(i,7) = RightWheelDamagePeakValue(i);  
        Bodsjon(i,8) = LeftWheelDamageDistributedLoadValue(i);  
        Bodsjon(i,9) = RightWheelDamageDistributedLoadValue(i);  
    end  
end  
Bodsjon(~any(Bodsjon,2), :) = [];
```

Weight distribution

```
Axleload05 = zeros(L,1);
```

G. Matlab kod för att tolka, plotta och sortera lastbalanserna för mätstationer i Bodsjön och Koler

```
Axleload510 = zeros(L,1);
Axleload1015 = zeros(L,1);
Axleload1520 = zeros(L,1);
Axleload2025 = zeros(L,1);
Axleload2530 = zeros(L,1);
Axleload30inf = zeros(L,1);

for i=1:L
    if AxleLoad(i) < 5
        Axleload05(i) = AxleLoad(i);
    elseif AxleLoad(i) < 10
        Axleload510(i) = AxleLoad(i);
    elseif AxleLoad(i) < 15
        Axleload1015(i) = AxleLoad(i);
    elseif AxleLoad(i) < 20
        Axleload1520(i) = AxleLoad(i);
    elseif AxleLoad(i) < 25
        Axleload2025(i) = AxleLoad(i);
    elseif AxleLoad(i) < 30
        Axleload2530(i) = AxleLoad(i);
    else
        Axleload30inf(i) = AxleLoad(i);
    end
end

Axleload05(~any(Axleload05,2), : ) = [];
Axleload510(~any(Axleload510,2), : ) = [];
Axleload1015(~any(Axleload1015,2), : ) = [];
Axleload1520(~any(Axleload1520,2), : ) = [];
Axleload2025(~any(Axleload2025,2), : ) = [];
Axleload2530(~any(Axleload2530,2), : ) = [];
Axleload30inf(~any(Axleload30inf,2), : ) = [];

ammountsOfAxleload05 = length(Axleload05);
ammountsOfAxleload510 = length(Axleload510);
ammountsOfAxleload1015 = length(Axleload1015);
ammountsOfAxleload1520 = length(Axleload1520);
ammountsOfAxleload2025 = length(Axleload2025);
ammountsOfAxleload2530 = length(Axleload2530);
ammountsOfAxleload30inf = length(Axleload30inf);

% %H = [ammountsOfAxleload05 ammountsOfAxleload510 ammountsOfAxleload1015...
%       ammountsOfAxleload1520 ammountsOfAxleload2025 ammountsOfAxleload2530...
% ammountsOfAxleload30inf];
% histogram(H);
```

G. Matlab kod för att tolka, plotta och sortera lastbalanserna för mätstationer i Bodsjön och Koler

All signals

```
good = zeros(L,2);
warning = zeros(L,2);
larm = zeros(L,2);
eliminated = zeros(L,2);

for i=1:L
    if LeftRightLoadRatio(i) < 1.3

        good(i,1) = LeftRightLoadRatio(i);
        good(i,2) = AxleLoad(i);

    elseif LeftRightLoadRatio(i) < 2.5
        warning(i,1) = LeftRightLoadRatio(i);
        warning(i,2) = AxleLoad(i);

    elseif LeftRightLoadRatio(i) <= 4.0

        larm(i,1) = LeftRightLoadRatio(i);
        larm(i,2) = AxleLoad(i);

    else

        eliminated(i,1) = LeftRightLoadRatio(i);
        eliminated(i,2) = AxleLoad(i);
    end
end

good(~any(good,2), : ) = [];
warning( ~any(warning,2), : ) = [];
larm( ~any(larm,2), : ) = [];
eliminated( ~any(eliminated,2), : ) = [];

amountsGood = length(good);
amountsWarning = length(warning);
amountsLarm = length(larm);
amountsEliminated = length(eliminated);

Procent = length(larm)/(length(good)+length(warning)+length(larm));
```

Koler signals

```
goodKoler = zeros(LK,2);
warningKoler = zeros(LK,2);
larmKoler = zeros(LK,2);
```


G. Matlab kod för att tolka, plotta och sortera lastbalanserna för mätstationer i Bodsjön och Koler

```
eliminatedKoler = zeros(LK,2);

for i=1:length(Koler)
    if Koler(i,3) < 1.3

        goodKoler(i,1) = Koler(i,3);
        goodKoler(i,2) = Koler(i,2);

    elseif Koler(i,3) < 1.7

        warningKoler(i,1) = Koler(i,3);
        warningKoler(i,2) = Koler(i,2);

    elseif Koler(i,3) <= 4.0

        larmKoler(i,1) = Koler(i,3);
        larmKoler(i,2) = Koler(i,2);

    else

        eliminatedKoler(i,1) = Koler(i,3);
        eliminatedKoler(i,2) = Koler(i,2);

    end
end

goodKoler(~any(goodKoler,2), : ) = [];
warningKoler( ~any(warningKoler,2), : ) = [];
larmKoler( ~any(larmKoler,2), : ) = [];
eliminatedKoler( ~any(eliminatedKoler,2), : ) = [];

amountsGoodKoler = length(goodKoler);
amountsWarningKoler = length(warningKoler);
amountsLarKoler = length(larmKoler);
amountsEliminatedKoler = length(eliminatedKoler);
```

Bodsjon signals

```
goodBodsjon = zeros(LB,2);
warningBodsjon = zeros(LB,2);
larmBodsjon = zeros(LB,2);
eliminatedBodsjon = zeros(LB,2);

for i=1:length(Bodsjon)
    if Bodsjon(i,3) < 1.3
```

G. Matlab kod för att tolka, plotta och sortera lastbalanserna för mätstationer i Bodsjön och Koler

```
    goodBodsjon(i,1) = Bodsjon(i,3);
    goodBodsjon(i,2) = Bodsjon(i,2);

elseif Bodsjon(i,3) < 1.7

    warningBodsjon(i,1) = Bodsjon(i,3);
    warningBodsjon(i,2) = Bodsjon(i,2);

elseif Bodsjon(i,3) <= 4.0

    larmBodsjon(i,1) = Bodsjon(i,3);
    larmBodsjon(i,2) = Bodsjon(i,2);

else

    eliminatedKoler(i,1) = Bodsjon(i,3);
    eliminatedKoler(i,2) = Bodsjon(i,2);

end

end

goodBodsjon(~any(goodBodsjon,2), : ) = [];
warningBodsjon( ~any(warningBodsjon,2), : ) = [];
larmBodsjon( ~any(larmBodsjon,2), : ) = [];
eliminatedBodsjon( ~any(eliminatedBodsjon,2), : ) = [];

amountsGoodBodsjon = length(goodBodsjon);
amountsWarningBodsjon = length(warningBodsjon);
amountsLarmBodsjon = length(larmBodsjon);
amountsEliminatedBodsjon = length(eliminatedBodsjon);
```

Plottande

```
figure(1);
sortGoodLoadRatio = sortrows(good);
sortWarningLoadRatio = sortrows(warning);
sortLarmLoadRatio = sortrows(larm);

subplot(3,3,1)
plot(sortGoodLoadRatio(:,1), sortGoodLoadRatio(:,2), 'x');
title('Good signals');
xlabel('Load ratio');
ylabel('Axel load');
hold on

subplot(3,3,2)
```

G. Matlab kod för att tolka, plotta och sortera lastbalanserna för mätstationer i Bodsjön och Koler

```
plot(sortWarningLoadRatio(:,1),sortWarningLoadRatio(:,2),'x');
title('Warning signals');
xlabel('Load ratio');
ylabel('Axel load');
```

```
subplot(3,3,3)
plot(sortLarmLoadRatio(:,1),sortLarmLoadRatio(:,2),'x');
title('Larm signals');
xlabel('Load ratio');
ylabel('Axel load');
```

```
sortGoodAxleLoad = sortrows(good,2);
sortWarningAxleLoad = sortrows(warning,2);
sortLarmAxleLoad = sortrows(larm,2);
```

```
subplot(3,3,4)
plot(sortGoodAxleLoad(:,2),sortGoodAxleLoad(:,1),'x');
title('Good signals');
xlabel('Axle load');
ylabel('Load ratio');
```

```
subplot(3,3,5)
plot(sortWarningAxleLoad(:,2),sortWarningAxleLoad(:,1),'x');
title('Warning signals');
xlabel('Axle load');
ylabel('Load ratio');
```

```
subplot(3,3,6)
plot(sortLarmAxleLoad(:,2),sortLarmAxleLoad(:,1),'x');
title('Larm signals');
xlabel('Axle load');
ylabel('Load ratio');
```

```
subplot(3,3,7)
histogram(sortGoodLoadRatio(:,1));
set(gca,'YScale','log')
title('Good signals');
xlabel('Load ratio');
ylabel('Amount of good signals');
```

```
subplot(3,3,8)
histogram(sortWarningLoadRatio(:,1));
set(gca,'YScale','log')
title('Warning signals');
xlabel('Load ratio');
ylabel('Amount of warning signals');
```

G. Matlab kod för att tolka, plotta och sortera lastbalanserna för mätstationer i Bodsjön och Koler

```
subplot(3,3,9)
histogram(sortLarmLoadRatio(:,1));
set(gca,'YScale','log')
title('Larm signals');
xlabel('Load ratio');
ylabel('Amount of larm signals');
ylim([0.9 2000]);

sortLoadRatio = [sortGoodLoadRatio(:,1);sortWarningLoadRatio(:,1);sortLarmLoadRatio(:,1)];
figure(2)
hAll = histogram(sortLoadRatio,30);
set(gca,'YScale','log');
title('All signals');
xlabel('Load ratio');
ylabel('Amounts of signals');
ylim([0.9 3*10^6]);

hold on
allHistValues = hAll.Values;
allHistNumBins = hAll.NumBins;
x = linspace(1,4,allHistNumBins);
p = polyfit(x,log10(allHistValues),2);
p1 = p(1);
p2 = p(2);
p3 = p(3);
y = 10.^(p1*x.^2+p2*x+p3);
plot(x,y);
legend('Histogram','10e(0,4035*x^2-3,8608*x+9,1540)');

hold off
figure(10);
hAllProc = histogram(sortLoadRatio,30);
set(gca,'YScale','log');

title('All signals');
xlabel('Load ratio');
ylabel('Amounts of signals');
ylim([0.9 3*10^6]);
```

Koler

```
figure(3);
sortGoodKolerLoadRatio = sort(goodKoler,2);
sortWarningKolerLoadRatio = sort(warningKoler,2);
sortLarmKolerLoadRatio = sort(larmKoler,2);
```

XX

G. Matlab kod för att tolka, plotta och sortera lastbalanserna för mätstationer i Bodsjön och Koler

```
subplot(3,3,1)
plot(sortGoodKolerLoadRatio(:,1),sortGoodKolerLoadRatio(:,2),'x');
title('Good signals for Koler');
xlabel('Load ratio');
ylabel('Axel load');

subplot(3,3,2)
plot(sortWarningKolerLoadRatio(:,1),sortWarningKolerLoadRatio(:,2),'x');
title('Warning signals for Koler');
xlabel('Load ratio');
ylabel('Axle load');

subplot(3,3,3)
plot(sortLarmKolerLoadRatio(:,1),sortLarmKolerLoadRatio(:,2),'x');
title('Larm signals for Koler');
xlabel('Axle Load');
ylabel('Load ratio');

sortGoodKolerAxleLoad = sortrows(goodKoler,2);
sortWarningKolerAxleLoad = sortrows(warningKoler,2);
sortLarmKolerAxleLoad = sortrows(larmKoler,2);

subplot(3,3,4)
plot(sortGoodKolerAxleLoad(:,2),sortGoodKolerAxleLoad(:,1),'x');
title('Good signals for Koler');
xlabel('Axle load');
ylabel('Load ratio');

subplot(3,3,5)
plot(sortWarningKolerAxleLoad(:,2),sortWarningKolerAxleLoad(:,1),'x');
title('Warning signals for Koler');
xlabel('Axle load');
ylabel('Load ratio');

subplot(3,3,6)
plot(sortLarmKolerAxleLoad(:,2),sortLarmKolerAxleLoad(:,1),'x');
title('Larm signals for Koler');
xlabel('Axle load');
ylabel('Load ratio');

subplot(3,3,7)
histogram(sortGoodKolerLoadRatio(:,1));
set(gca,'YScale','log')
title('Good signals for Koler');
xlabel('Load ratio');
```

G. Matlab kod för att tolka, plotta och sortera lastbalanserna för mätstationer i Bodsjön och Koler

```
ylabel('Amount of good signals');

subplot(3,3,8)
histogram(sortWarningKolerLoadRatio(:,1));
set(gca,'YScale','log')
title('Warning signals for Koler');
xlabel('Load ratio');
ylabel('Amount of warning signals');

subplot(3,3,9)
histogram(sortLarmKolerLoadRatio(:,1));
set(gca,'YScale','log')
title('Larm signals for Koler');
xlabel('Load ratio');
ylabel('Amount of larm signals');
ylim([0.9 2000]);

sortKolerLoadRatio = [sortGoodKolerLoadRatio(:,1);sortWarningKolerLoadRatio(:,1);sortLarmKolerLoadRatio(:,1)];
figure(4)
histogram(sortKolerLoadRatio);
set(gca,'YScale','log')
title('Amount of signals in Koler');
xlabel('Load ratio');
ylabel('Amount of signals');
ylim([0.9 3*10^5]);

% Linje
figure(20);
LoadRatioKoler = [goodKoler(:,1); warningKoler(:,1); larmKoler(:,1)];
hK = length(LoadRatioKoler);
hKoler = histogram(LoadRatioKoler,30);
set(gca,'YScale','log');

title('All signals');
xlabel('Load ratio');
ylabel('Amounts of signals');
ylim([0.9 3*10^6]);

hold on
KolerHistValues = hKoler.Values;
KolerHistValues = KolerHistValues';
KolerHistValues(~any(KolerHistValues,2), : ) = [];
KolerHistValues = KolerHistValues';
KolerHistNumBins = length(KolerHistValues);
xK = linspace(1,4,KolerHistNumBins);
pK = polyfit(xK,log10(KolerHistValues),2);
```

G. Matlab kod för att tolka, plotta och sortera lastbalanserna för mätstationer i Bodsjön och Koler

```
p1Koler = pK(1);
p2Koler = pK(2);
p3Koler = pK(3);
yK = 10.^(p1Koler*xK.^2+p2Koler*xK+p3Koler);
plot(xK,yK);
legend('Histogram','10e(0,4035*x^2-3,8608*x+9,1540)');
```

Bodsjon

```
figure(5);
sortGoodBodsjonLoadRatio = sort(goodBodsjon,2);
sortWarningBodsjonLoadRatio = sort(warningBodsjon,2);
sortLarmBodsjonLoadRatio = sort(larmBodsjon,2);

subplot(3,3,1)
plot(sortGoodBodsjonLoadRatio(:,1),sortGoodBodsjonLoadRatio(:,2),'x');
title('Good signals for Bodsjön');
xlabel('Axle Load');
ylabel('Load ratio');

subplot(3,3,2)
plot(sortWarningBodsjonLoadRatio(:,1),sortWarningBodsjonLoadRatio(:,2),'x');
title('Warning signals for Bodsjön');
xlabel('Axle Load');
ylabel('Load ratio');

subplot(3,3,3)
plot(sortLarmBodsjonLoadRatio(:,1),sortLarmBodsjonLoadRatio(:,2),'x');
title('Larm signals for Bodsjön');
xlabel('Axle Load');
ylabel('Load ratio');

sortGoodBodsjonAxleLoad = sortrows(goodBodsjon,2);
sortWarningBodsjonAxleLoad = sortrows(warningBodsjon,2);
sortLarmBodsjonAxleLoad = sortrows(larmBodsjon,2);

subplot(3,3,4)
plot(sortGoodBodsjonAxleLoad(:,2),sortGoodBodsjonAxleLoad(:,1),'x');
title('Good signals for Bodsjön');
ylabel('Axle Load');
xlabel('Load ratio');

subplot(3,3,5)
plot(sortWarningBodsjonAxleLoad(:,2),sortWarningBodsjonAxleLoad(:,1),'x');
title('Warning signals for Bodsjön');
ylabel('Axle Load');
```

G. Matlab kod för att tolka, plotta och sortera lastbalanserna för mätstationer i Bodsjön och Koler

```
xlabel('Load ratio');

subplot(3,3,6)
plot(sortLarmBodsjonAxleLoad(:,2), sortLarmBodsjonAxleLoad(:,1), 'x');
title('Larm signals for Bodsjön');
ylabel('Axle Load');
xlabel('Load ratio');

subplot(3,3,7)
histogram(sortGoodBodsjonLoadRatio(:,1));
set(gca, 'YScale', 'log')
title('Good signals in Bodsjön');
ylabel('Amount of values');
xlabel('Load ratio');

subplot(3,3,8)
histogram(sortWarningBodsjonLoadRatio(:,1));
set(gca, 'YScale', 'log')
title('Warning signals for Bodsjön');
ylabel('Amount of values');
xlabel('Load ratio');

subplot(3,3,9)
histogram(sortLarmBodsjonLoadRatio(:,1));
set(gca, 'YScale', 'log')
title('Larm signals for Bodsjön');
ylabel('Amount of vlaues');
xlabel('Load ratio');
ylim([0.9 2000]);

sortBodsjonLoadRatio = [sortGoodBodsjonLoadRatio(:,1); sortWarningBodsjonLoadRatio(:,1)];
figure(6)
histogram(sortBodsjonLoadRatio);
set(gca, 'YScale', 'log')
title('Amount of signals in Bodsjön');
ylabel('Amount of signals');
xlabel('Load ratio');
ylim([0.9 3*10^5]);

% Linje
figure(20);
LoadRatioBodsjon = [goodBodsjon(:,1); warningBodsjon(:,1); larmBodsjon(:,1)];
hB = length(LoadRatioBodsjon);
hBodsjon = histogram(LoadRatioBodsjon, 30);
set(gca, 'YScale', 'log');
```



```
title('All signals');
xlabel('Load ratio');
ylabel('Amounts of signals');
ylim([0.9 3*10^6]);

hold on
BodsjonHistValues = hBodsjon.Values;
BodsjonHistValues = BodsjonHistValues';
BodsjonHistValues(~any(BodsjonHistValues,2), : ) = [];
BodsjonHistValues = BodsjonHistValues';
BodsjonHistNumBins = length(BodsjonHistValues);
xK = linspace(1,4,BodsjonHistNumBins);
pB = polyfit(xK,log10(BodsjonHistValues),2);
p1Bodsjon = pB(1);
p2Bodsjon = pB(2);
p3Bodsjon = pB(3);
yB = 10.^(p1Bodsjon*xK.^2+p2Bodsjon*xK+p3Bodsjon);
plot(xK,yB);
legend('Histogram','10e(0,4035*x^2-3,8608*x+9,1540)');
```

Linjen

```
hold off
figure(11)
%All
allHistProcValues = hAllProc.Values/L;
allHistProcNumBins = hAllProc.NumBins;
x = linspace(1,4,allHistProcNumBins);
p = polyfit(x,log10(allHistProcValues),2);
p1 = p(1);
p2 = p(2);
p3 = p(3);
y = 10.^(p1*x.^2+p2*x+p3);
plot(x,y);
set(gca,'YScale','log');
hold on
%Koler

KolerHistProcValues = hKoler.Values/L;
KolerHistProcValues = KolerHistProcValues';
KolerHistProcValues(~any(KolerHistProcValues,2), : ) = [];
KolerHistProcValues = KolerHistProcValues';
KolerHistProcNumBins = length(KolerHistProcValues);
xK = linspace(1,4,KolerHistProcNumBins);
pK = polyfit(xK,log10(KolerHistProcValues),2);
```

G. Matlab kod för att tolka, plotta och sortera lastbalanserna för mätstationer i Bodsjön och Koler

```
p1Koler = pK(1);
p2Koler = pK(2);
p3Koler = pK(3);
yk = 10.^(p1Koler*xK.^2+p2Koler*xK+p3Koler);
plot(xK,yk);

%Bodsjon

figure(11);
BodsjonHistProcValues = hBodsjon.Values/L;
BodsjonHistProcValues = BodsjonHistProcValues';
BodsjonHistProcValues(~any(BodsjonHistProcValues,2), :) = [];
BodsjonHistProcValues = BodsjonHistProcValues';
BodsjonHistProcNumBins = length(BodsjonHistProcValues);
xK = linspace(1,4,BodsjonHistProcNumBins);
pB = polyfit(xK,log10(BodsjonHistProcValues),2);
p1Bodsjon = pB(1);
p2Bodsjon = pB(2);
p3Bodsjon = pB(3);
yk = 10.^(p1Bodsjon*xK.^2+p2Bodsjon*xK+p3Bodsjon);
plot(xK,yk);
set(gca,'YScale','log');
legend('Alla stationer: 0,4035*x^2-3,8608*x+2,7773)', 'Koler: 0,4989*x^2-4,3554*x+3,
```