

Hinderdetektering på den svenska järnvägen

– En jämförelse mellan dagens och framtidens hinderdetekteringssystem



**LUNDS
UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

**LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Teknik och Samhälle**

Examensarbete:
Benjamin Smakic

© Copyright Benjamin Smakic

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2019

Sammanfattning

Syftet med detta examensarbete är att utreda vilka hinderdetekteringssystem som finns tillgängliga idag eller som är under utveckling, och att ta reda på vilket system som är bäst ur ett tekniskt och samhällsekonomiskt perspektiv.

Med hinderdetektering menas de system som finns på järnvägen för att detektera var på järnvägen det finns ett hinder. Det kan t.ex. vara ett tåg, en godsvagn eller ett arbetsfordon. Hinderdetekteringen ligger till grund för stora delar av järnvägens signalanläggning. Det är nödvändigt ur ett säkerhetsperspektiv att vid alla tillfällen veta var spårfordon, både i drift och stillastående, befinner sig på järnvägen.

De system som är i drift idag (spårledningar, axelräknare och RFID), samt system som är under utveckling (GPS-baserad "moving block") har jämförts. Aspekter som har tagits i beaktning är bl.a. systemfunktioner, detekteringshastigheter, påverkan från yttre faktorer, livscykelkostnader, signalfelsstatistik och orsakade förseningsminuter. Signalfelsstatistik från Trafikverket, Öresundsbrokonsortiet och brittiska Network-Rail har vägts samman. Livscykelkostnader från Network-Rail och IRSE (Nya Zeeland) har jämförts.

Den sammanvägda statistiken visar att axelräknare och spårledningar generellt sett är lika pålitliga idag, men att det finns vissa miljöomständigheter som markant försämrar spårledningar men inte påverkar axelräknare i lika stor utsträckning, bl.a. fukt. Dessa miljöomständigheter kortsluter spårledningar utan närvaron av ett spårfordon (så kallad falsk beläggning), vilket leder till signalfel och därmed mer avhjälpande underhåll. Livscykelkostnaderna för de två system varierar mellan de båda länder som har jämförts, där axelräknare är avsevärt billigare än spårledningar i det ena fallet (Storbritannien), men lite dyrare i det andra fallet (Nya Zeeland).

Sammanvägs alla dessa aspekter så är axelräknare generellt bättre kostnadsmissigt samt ur ett tekniskt perspektiv, och avsevärt bättre under vissa omständigheter. GPS-baserad "moving block" och RFID har potential att till en viss grad ersätta både spårledningar och axelräknare i framtiden. Dessa system är dock under utveckling och inte tillämpbara i dagsläget.

Nyckelord: Hinderdetekteringssystem, spårledningar, axelräknare, ERTMS, RFID, livscykelkostnader, signalfel.

Abstract

The main purpose of this thesis is to investigate which track vacancy detection systems are available today or under development, and determine which system is best from a technical and economically perspective.

Track vacancy detection systems exist to supervise the railway and indicate if a track section is occupied with an obstacle, e.g. a train, freight wagon or maintenance vehicle. These train vacancy detection systems are the basis of the majority of signalling systems, for example interlocking and automatic block signalling. It is necessary from a safety point of view to always know where rail-vehicles, both stationary and nonstationary, are located.

A comparison between systems that are in use today (track circuits, axle counters and RFID), as well as systems under development (GPS-based “moving block”), has been made. Aspects such as specific system characteristics, maximum detection speeds, the influence of external factors (e.g. weather, temperature, humidity), life cycle costs, signal failures, delay minutes etc. have been taken into consideration. Statistics about signal failures and delay minutes have been provided by the Swedish Transport Administration, Oresund Bridge Consortium and British Network-Rail. Life Cycle costs have been provided by IRSE and Network-Rail.

Both track circuits and axle counters are equally reliable, as shown by the signal failure statistics. However, there are specific environmental circumstances (humidity for instance) where axle counters are significantly more reliable and therefore more profitable. These circumstances cause track circuits to short-circuit without the presence of a track-vehicle, which results in increased maintenance costs, as experienced by the Oresund Bridge Consortium. The life cycle costs provided by IRSE and Network-Rail are partially inconclusive, with one stating that track circuits are somewhat less expensive compared to axle counters, and another stating that axle counters are significantly less expensive compared to track circuits. In conclusion the study shows that axle counters, compared to track circuits, is a better track vacancy detection system from an economical as well as technical point of view, and considerably better under certain circumstances. GPS-based “moving block” and RFID have the potential to replace both track circuits and axle counters to a certain extent in the future. These systems however, are under development and not yet applicable.

Key words: Track vacancy detection systems, track circuits, axle counters, ERTMS, RFID, life cycle costs, signal failures.

Förord

Det här examensarbetet är utfört i samarbete med SYSTRA AB i Malmö, 1 februari 2019–3 juni 2019. Stora delar av arbetet har bestått av utredning, teknisk specifikation, dialog (mejlintervju) med Trafikmyndigheter samt privata företag, sammanställning av statistik m.m.

Jag vill ge ett stort tack till mina hjälpsamma och kompetenta handledare på SYSTA, Andreas Petersson och Sven Assarsson för god vägledning och problemlösning, samt Andreas Persson från LTH för språklig kontroll av examensarbetet och i övrigt kloka synpunkter. Jag vill även tacka Manfred Sommergruber från Frauscher Sensortechnik GmbH, Mikael Lundgren från Öresundsbrokonsortiet, Trafikverket och Network-Rail för att ha bistått med viktig information och statistik.

Malmö, 2019.

Benjamin Smakic

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1. Bakgrund	1
1.2. Syfte	1
1.3. Frågeställningar	2
1.4. Metod	2
1.5. Avgränsningar	2
2. Hinderdetekteringssystemens funktion, utformning och säkerhet	3
2.1. Allmänt	3
2.2. Säkerhetsklassning	3
2.3. Olika system för hinderdetektering	5
2.3.1. Likströmsspårledning	5
2.3.2. Tonfrekvensspårledning	8
2.3.3. Impulsspårledning	10
2.3.4. Axelräknare	12
2.3.5. RFID	15
2.3.6. ERTMS och GPS-baserad "moving block"	16
3. Hinderdetekteringssystemens för- och nackdelar, systemjämförelse	20
3.1. Likströmsspårledning	20
3.2. Tonfrekvensspårledning	21
3.3. Impulsspårledning	22
3.4. Axelräknare	23
3.5. RFID	26
3.6. GPS-baserad "moving block"	27
3.7. Sammanfattad jämförelse	29
4. Tillverkare	30
4.1. Axelräknare	30
4.1.1. Frauscher Sensor Technology	30
4.1.2. Siemens	34
4.1.3. Altpro	35
4.2. RFID	36
4.2.1. Tagmaster	36

5. Investerings-, underhålls- och livscykelkostnader	37
5.1. Allmänt	37
5.2. Investeringskostnader	37
5.3. Underhållskostnader.....	38
5.4. Livscykelkostnader	40
5.4.1. IRSE (Nya Zeeland)	40
5.4.2. Network-Rail, Storbritannien	40
6. Signalfels- och förseningsstatistik.....	43
6.1. Sverige	43
6.1.1. Signalfel.....	43
6.1.2. Förseningsminuter.....	47
6.2. Skåne	48
6.2.1. Förseningsminuter.....	48
6.3. Storbritannien	51
6.3.1. Antal hinderdetekteringssystem i drift	51
6.3.2. Signalfel.....	52
6.3.3. Förseningsminuter.....	57
6.4. Signalfelsstatistik från Öresundsbron	58
6.5. Sammanfattad signalfels- och förseningsstatistik	59
7. Kostnader för samhället.....	60
7.1. Samhällsekonomisk beräkning.....	61
8. Diskussion och slutsats	63
8.1. Förslag till vidare studier.....	65
9. Källförteckning.....	66
Skriftliga referenser	66
Skriftlig korrespondens.....	69
Figurförteckning.....	69
10. Bilagor.....	71
10.1. Bilaga 1, signalfel i Storbritannien	71
10.2. Bilaga 2, rälsbrottstyper.....	72
10.3. Bilaga 3, livscykelkostnader	73

1. Inledning

1.1. Bakgrund

Järnvägen i Sverige har under den senaste tiden fått allt mer uppmärksamhet. Ökat allmänt miljötanke hos befolkningen, striktare mål uppsatta på både nationell- och EU-nivå för smidigare, tryggare och grönare transportsätt samt generellt ett ökat antal resande ställer allt tuffare krav på ett felfritt och väl utvecklat järnvägssystem. Detta märks tydligt på t.ex. den nationella planen 2018–2029 där en stor andel av de 622,5 miljarder kronorna kommer att investeras i den svenska järnvägen (Trafikverket, 2017). Många stora projekt, såväl lokala som nationella, är under genomförande, t.ex. fyrspårsutbyggnad mellan Malmö och Lund, ERTMS-införande, Västlänken, höghastighetsjärnväg, listan kan göras lång. Parallellt med alla dessa projekt är det nödvändigt att utveckla dagens järnvägsteknik. Idag är järnvägen långt ifrån felfri, med många olägliga störningar och förseningar som uppkommer allt för ofta. Signalfel är många resenärer bekanta med, och antalet förseningar orsakade på grund av signalfel är oacceptabelt många. En del av dessa orsakas på grund av felaktiga hinderdetekteringssystem på järnvägen. Hinderdetekteringssystem, som är fundamentet i stora delar av signaltekniken, är ett teknikområde som i Sverige har behandlats väldigt konservativt. Spårledning är en välbeprövad teknik som har används sedan tidigt 1900-tal, men kanske inte optimal. Trots att det finns andra alternativ tillgängliga på marknaden, och trots att andra länder med en mer välutvecklad järnvägsinfrastruktur använder andra alternativ i större utsträckning, sker det ingen större utveckling i Sverige. Av den anledningen kommer detta examensarbete att utreda vilka hinderdetekteringssystem som finns tillgängliga idag och avgöra vilket som är det mest samhällsekonomiskt lönsamma.

1.2. Syfte

Syftet med examensarbetet är att utreda de hinderdetekteringssystem som finns tillgängliga på marknaden idag och jämföra dessa för att kunna avgöra vilket system som är bäst ur ett samhällsekonomiskt lönsamhetsperspektiv. Det inkluderar bl.a. att utreda underhållskostnader, hur mycket driftstörningar varje system leder till, antal förseningsminuter som uppkommer till följd av detta, och hur stor den samhällsekonomiska förlusten blir.

1.3. Frågeställningar

- Vilka hinderdetekteringssystem finns idag/är under utveckling, hur fungerar dessa och vilka är fördelarna/nackdelarna?
- Hur pålitliga är dessa system, dvs. hur mycket signalfel, förseningsminuter etc. har uppstått p.g.a. felaktiga system?
- Hur stora är projekterings- och underhållskostnaderna för de olika systemen?
- Vilket system är bäst ur ett samhällsekonomiskt lönsamhetsperspektiv?

1.4. Metod

Examensarbetet har skrivits i samarbete med SYSTRA AB i Malmö. SYSTRA AB är ett globalt konsultföretag med expertis inom många olika infrastrukturområden. Anställda på företaget har hjälpt till med kontaktuppgifter, information, källor och synpunkter.

En litteraturstudie har genomförts för att ta fram grundläggande information om de olika hinderdetekteringssystemens funktion, utformning, fördelar, nackdelar och systemegenskaper. För att ta fram mer detaljerad systeminformation och statistik om signalfel, förseningsminuter, underhållskostnader, livscykelkostnader och dylikt, har Trafikverket, brittiska Network-Rail, Öresundsbrokonsortiet och Frauscher Sensor Technology kontaktats. Trafikverket har via mejlkontakt bistått med signalfels- och förseningsstatistik för den svenska järnvägen. Network-Rail har via en Freedom of Information-begäran (FOI) bistått med signalfels- och förseningsstatistik för den brittiska järnvägen. Öresundsbrokonsortiet har via Mikael Lundgren bistått med information om hinderdetekteringssystem på Öresundsbron. Frauscher Sensor Technology har via Manfred Sommergruber bistått med information om företagets axelräknarprodukter. Utöver dessa parter har även Banedanmark, Bane NOR, Deutsche Bahn, Altpro och Siemens kontaktats, där svar inte har erhållits inom tidsramen för examensarbetet.

1.5. Avgränsningar

Hinderdetekteringssystem som är specialanpassade för vissa syften eller miljöer kommer inte att jämföras ur signalfelsperspektiv samt livscykelperspektiv. Dock kommer funktion och utformning för alla typer av hinderdetekteringssystem att beskrivas, för att få en överblick över vilka system som finns samt hur dessa fungerar.

2. Hinderdetekteringssystemens funktion, utformning och säkerhet

2.1. Allmänt

Med hinderdetektering menas de system som finns på järnvägen för att detektera, på en avgränsad spårsträcka, om det finns ett hinder. Det kan vara ett tåg, en vagn, ett arbetsfordon eller ett underhållsarbete. Hinderdetektering på järnvägen ligger till grund för stora delar av järnvägens signalanläggning. Det är nödvändigt ur ett säkerhetsperspektiv att vid alla tillfällen veta var spårfordon, både i drift och stillastående, befinner sig på järnvägen.

Idag används många olika hinderdetekteringssystem, i olika utsträckning. Det vanligaste systemet i Sverige är likströmsspårledningar, men undantag finns där andra krav ställs eller där omgivande faktorer inte medger användning av likströmsspårledningar. De hinderdetekteringssystem som används idag eller är under utvecklingsfas är:

- Likströmsspårledningar
- Växelströmsspårledningar
- Impulsspårledningar
- Tonfrekvensspårledningar
- Arbetsströmsspårledningar
- Axelräknare
- Radiofrekvensidentifiering
- GPS-baserad positionering, "moving block"

De flesta system bygger på reläteknik vid kommunikation med ställverk, eftersom det är gamla, men tillförlitliga system. Mer moderna hinderdetekteringssystem, t.ex. moderna axelräknarsystem, kan kommunicera med datorställverk via nätverkskablar istället för reläer.

2.2. Säkerhetsklassning

Säkerhet på järnvägen prioriteras alltid högst. Järnvägens signalsystem bygger på fail-safe principer, vilket innebär att alla system alltid ska gå ner i ett säkrare läge då fel uppstår. Oavsett vilken situation som uppstår (utöver det normala) kommer en mer restriktiv situation att uppstå för att förhindra olyckor. Dessa fail-safe system måste understödjas med komponenter som har hög säkerhet och pålitlighet. Samtliga komponenter som används inom järnvägens signalsystem är utvecklade och testade på ett noggrant och systematiskt sätt så att högsta möjliga säkerhet uppnås. För att kunna bedöma

säkerhetsnivån hos komponenter används SIL (Safety Integrity Level). SIL beskriver vilka säkerhetskrav som en komponent eller system måste uppfylla, beroende på syfte och användningsområde. SIL är en del av IEC 61508:2015, en standard framtagen för icke mekaniska säkerhetssystem och som tillämpas på järnvägens signalsystem. Det finns 4 säkerhetsnivåer, där nivå 1 är lägst och nivå 4 högst. Vid framtagning av ett nytt system eller en ny komponent inom signalteknik, görs en riskanalys för att kunna bedöma de konsekvenser och den fara som kan uppstå för allmänheten vid fel eller haveri. Exempelvis kan felaktiga axelräknare på en höghastighetsbana få ödesdigra konsekvenser. De bedömda konsekvenserna ligger till grund för vilken SIL-nivå ett system måste uppfylla, och detta i sin tur ligger till grund för hur många säkerhetskritiska fel som maximalt får uppstå i ett system eller en komponent per driftstimme. Detta kallas Tolerable Hazard Rate (THR), och redovisas i tabell 1 (Wiggles, 2001). Med andra ord visar tabell 1 att ett system maximalt får orsaka mellan 10^{-8} och 10^{-9} säkerhetskritiska fel per driftstimme för att uppnå högsta säkerhetsnivån, SIL 4.

Tabell 1: Visar relationen mellan SIL, THR och hur många tillåtna farliga fel som får uppstå per driftstimme (Wiggles, 2001).

Tolerable Hazard Rate (THR) per hour and per function	Safety Integrity Level (SIL)
$10^{-9} < \text{THR} < 10^{-8}$	4
$10^{-8} < \text{THR} < 10^{-7}$	3
$10^{-7} < \text{THR} < 10^{-6}$	2
$10^{-6} < \text{THR} < 10^{-5}$	1

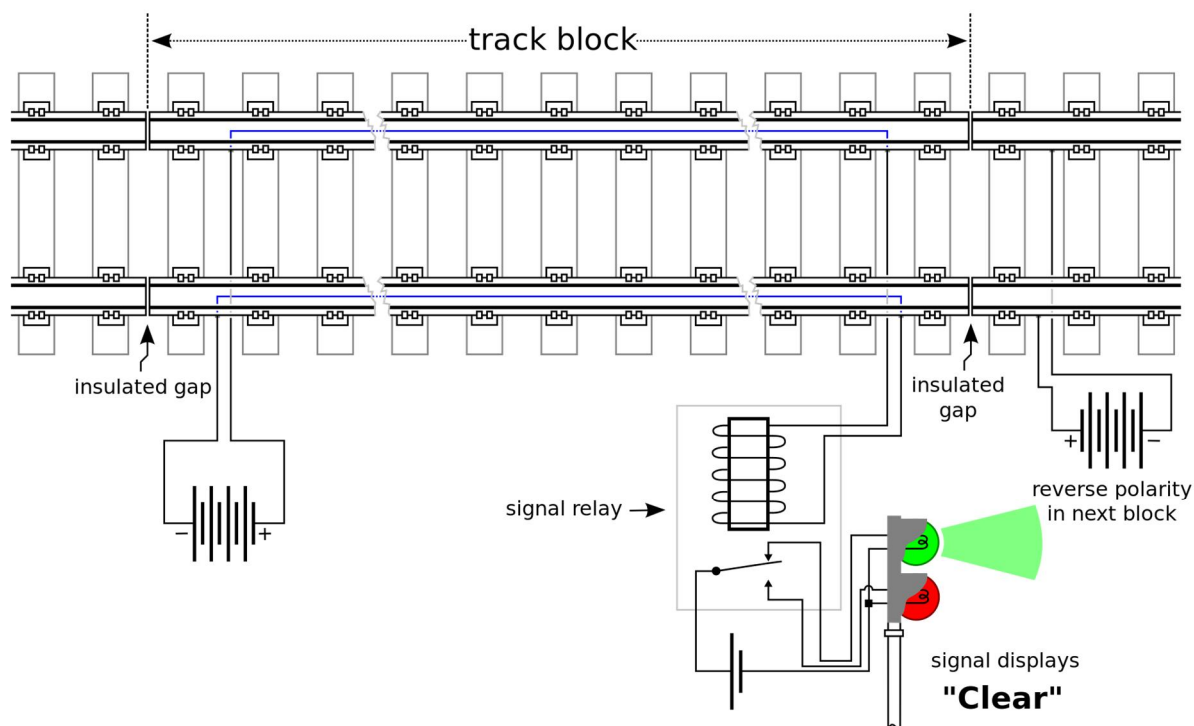
Hinderdetekteringssystem som används vid t.ex. linjeblockering eller på stationsområden där konsekvensen av en olycka bedöms vara mycket allvarlig för allmänheten, måste uppfylla högsta säkerhetsnivån. På anläggningar där konsekvensen bedöms vara mindre allvarlig, t.ex. mindre rangerbangårdar eller industrispår, kan hinderdetekteringssystem med lägre säkerhetsnivå användas i syfte att minska kostnader.

SIL måste tas i beaktning för att kunna avgöra om ett hinderdetekteringssystem är lämpligt ur ett säkerhetsperspektiv. Spårledning har inte klassats efter SIL, eftersom SIL inte existerade när spårledningstekniken utvecklades.

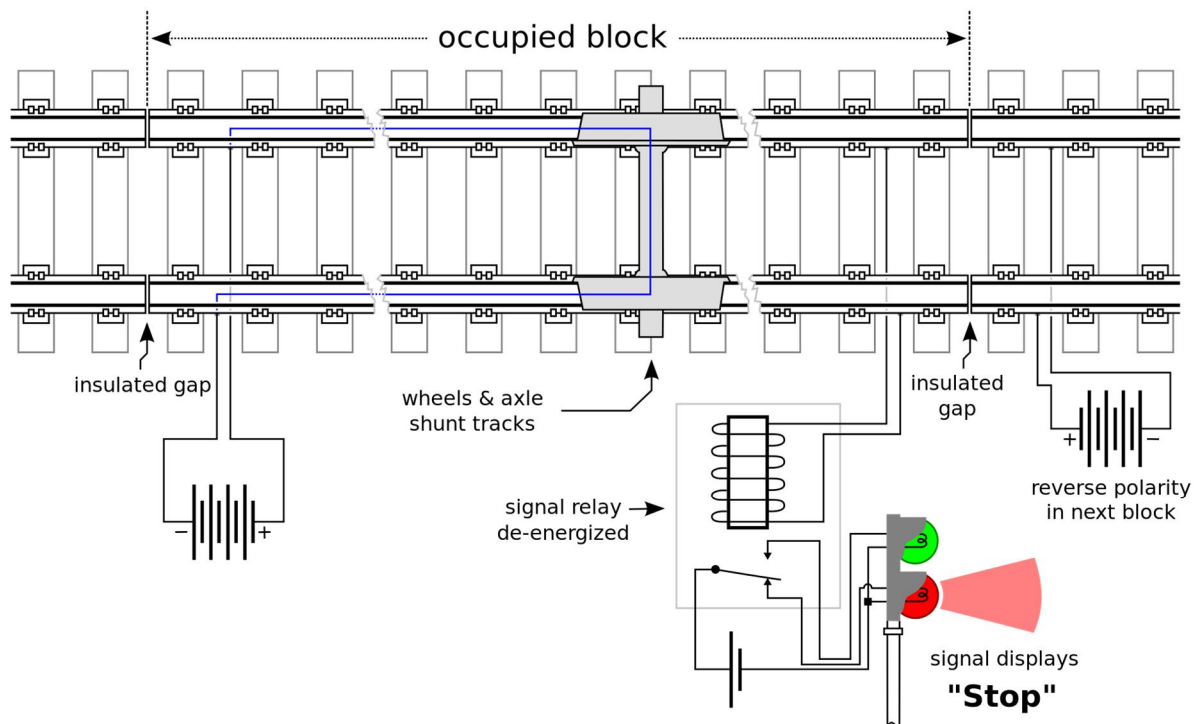
2.3. Olika system för hinderdetektering

2.3.1. Likströmsspårledning

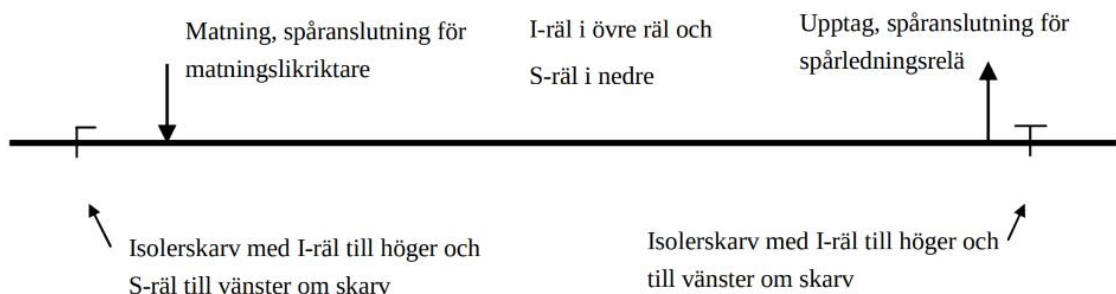
Det här systemet baseras på vanlig reläteknik. Figur 1 och 2 visar grundprincipen med spårledning. En strömkälla matar en specifik spårledningssträcka som är avskild med hjälp av isoleringsskarvar, från en s.k. matning, se figur 3. Den isolerade rälen kallas I-räl. Strömmen tas upp i ett upptag där spårledningsreläet är kopplat. Detta spårledningsrelä är permopolariserat, vilket innebär att det endast kommer att dra för rätt strömriktning. Reläet är draget i normalläge, dvs. när spårledningssträckan är fri från spårfordon. Strömmen fortsätter via S-rälen (sammanhängande rälen) tillbaka till matningen och skapar en sluten krets. När ett spårfordon kör förbi en isolerskarv in på en spårledningsträcka, kommer fordonets axlar att kortsluta den här kretsen, vilket i sin tur kommer att fälla spårledningsreläet vilket indikerar ockuperad spårledningssträcka, se figur 2.



Figur 1: Beskriver hur en fri likströmsspårledning ser ut. En strömkälla matar ett relä via i-rälen och skapar en sluten krets. De blå linjerna visar strömmens väg. Eftersom kretsen är sluten är reläet draget, och signalen visar därmed "kör" (Mangoe, 2010).

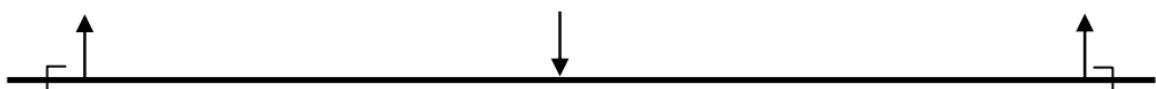


Figur 2: Beskriver hur en belagd likströmsspårledning ser ut. I detta fall kortsluts kretsen av en hjulaxel, vilket gör att reläet inte matas med ström och därmed faller. Ett fallet relä leder till att signalen visar "stopp" (Mangoe, 2010).



Figur 3: Beskrivning av en spårledning med svenska begrepp (BVS 544.98017).

Spårledningar kan vara mittmatade eller ändmatade. Mittmatad spårledning har en matning i mitten av spårledningssträckan och två upptag i vardera änden, se figur 4. Maximal längd för en mittmatad spårledning är 2500 m (BVS 544.98017).



Figur 4: Mittmatad spårledning (BVS 544.98017).

En spårledning med en icke centrerad matning får ha ett avstånd till någon av upptagen på maximalt 1800 m, och den totala längden får inte överstiga 2500 m, se figur 5 (BVS 544.98017).



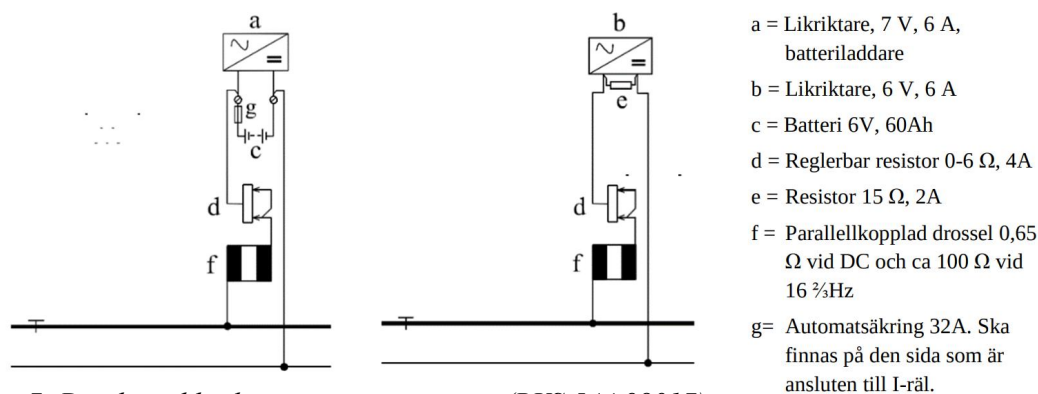
Figur 5: Spårledning med två upptag som inte är mittmatad (BVS 544.98017).

Ändmatad spårledning är utformad med matning och upptag i vardera ände av spårledningen. Den här typen av spårledning får maximalt vara 200 m, se figur 6 (BVS 544.98017).



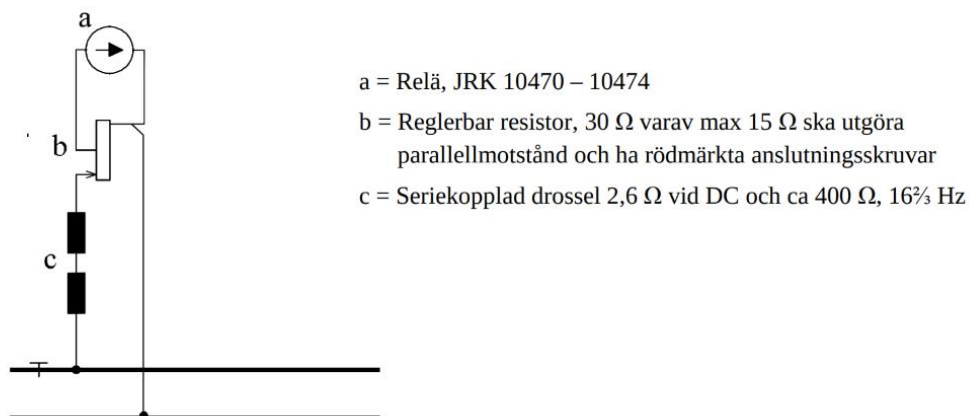
Figur 6: Ändmatad spårledning (BVS 544.98017).

Figur 7 visar mer detaljerat hur matningen till spårledningen är uppbyggd. Spårledningen matas med 7 V DC (likström), som dessförinnan har likriktats med hjälp av en likriktare. För att skydda matningen mot växelström från t.ex. traktionsmatningen (16,7 Hz växelström) används en s.k. drossel (se komponent f). I figur 7 beskrivs 2 olika matningar, där den första är försedd med en batteribackup. Komponent d är en reglerbar resistor som används för att justera matningsspänningen som matar I-rälen. Det är nödvändigt då olika faktorer kan påverka resistansen i både räler och ballast, och då måste matningsspänningen justeras i enlighet med detta (BVS 544.98017).



Figur 7: Detaljerad beskrivning av matningen (BVS 544.98017).

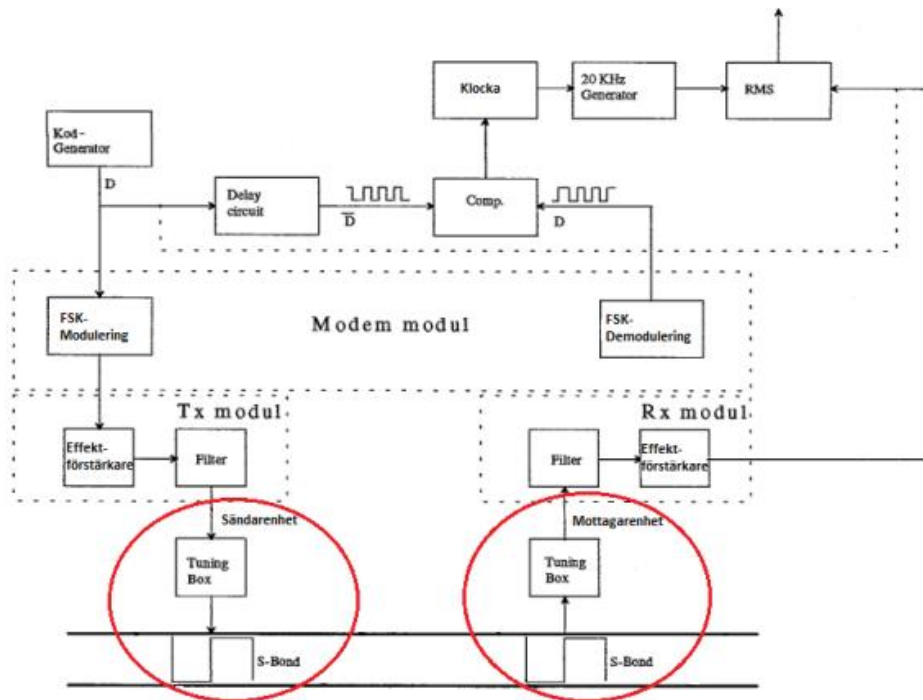
Figur 8 visar mer detaljerat hur upptaget i spårledningen är uppbyggt. De reläer som används är av typen säkerhetsreläer JRK 10470-10474. "J"-et i JRK innebär trafiksignalsystem för järnväg och väg. "R"-et anger att det är ett relä eller en reläsats för trafiksignaler. Slutligen anger bokstaven "K" att det är ett elektromagnetiskt insticksrelä. Siffrorna därefter anger information om antal kontakter, spänning etc. (Städje, 2014).



Figur 8: Detaljerad beskrivning av ett upptag (BVS 544.98017).

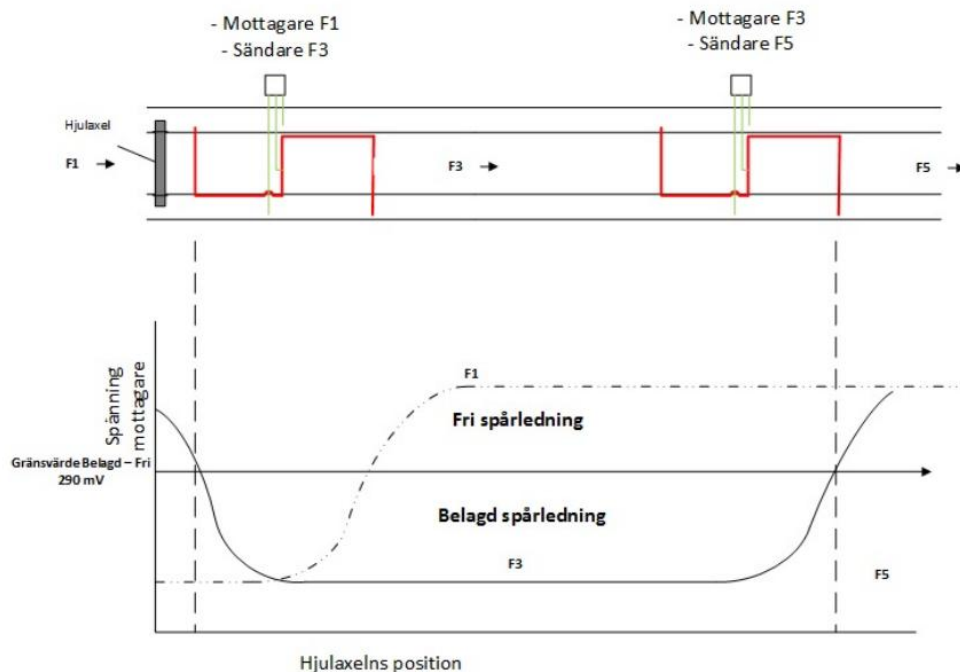
2.3.2. Tonfrekvensspårledning

Den här typen av hinderdetekteringssystem skiljer sig från traditionella spårledningar, på det sätt att inga isolerskarvar är nödvändiga för uppdelning av spårledningssträckor. Figur 9 visar ett övergripande schema över hela systemet, notera att det är mer komplicerat än vanliga likströmsspårledningar. I början av en tonfrekvensspårledning finns det en sändarenhet, och i slutet finns det en mottagarenhet, se de röda ringarna i figur 9. Sändarenheten skickar ut en kodad, elektrisk signal via rälen, som mottagarenheten tar emot. Då ett spårfordon med kortslutande hjulaxlar befinner sig på tonfrekvensspårledningen, kommer den elektriska signalen att kortslutas, och mottagarenheten kommer då inte att ta emot någon signal. Ingen mottagen signal innebär att spårsträckan är belagd. Utöver detta finns det en s.k. S-förbindelse. Det är S-förbindelsen som möjliggör skarvfri I-räl. De kodade, elektriska signalerna arbetar med olika frekvenser, och det är S-förbindelsen som separerar två spårledningssträckor så att frekvenserna inte fortplantas till närliggande spårledningar. De röda ringarna i figur 9 visar ändzonerna med S-förbindelser (Sellrup & Wilson, 2015).



Figur 9: Beskriver den tekniska uppbyggnaden av en tonfrekvensspårledning (Sellrup & Wilson, 2015).

Figur 10 visar hur den kodade signalen skickas från sändare till mottagare. I detta fall skickar sändare 3 ut en kodad signal som tas upp av mottagare 3. Där mottagare 3 är placerad finns det en sändare 5, som skickar ut en signal till mottagare 5.



Figur 10: Beskriver vilka spänningvärden som indikerar fri eller belagd spårledning (Sellrup & Wilson, 2015).

Då ett spårfordon belägger en tonfrekvensspårledning kommer hjulaxlarna att kortsluta den kodade signalen. Det kommer leda till att spänningen mellan mottagaren och sändaren sjunker, och därmed kommer blocksträckan att indikeras "ockuperad" eller belagd, se figur 10. Under tiden spårledningen kortsluts av spårfordonsaxeln, kommer spänningsvärdet att förbli lägre än 290 mV (millivolt). När hjulaxeln sedan rullar ut ur blocksträckan, kommer den att passera ytterligare en ändzon med en S-förbindelse. Spänningen kommer då att höjas igen allteftersom hjulaxeln rullar, tills att den helt har passerat S-förbindelsen, och då kommer spårledningen återigen att indikeras "fri". Samtidigt kommer nästa spårledningssträcka att detektera den passerande hjulaxeln eftersom den här spårledningen fungerar med en annan frekvens. Till skillnad från vanliga likströmsspårledningar där strömmen kortsluts helt, kommer den kodade signalens spänning att sjunka då en hjulaxel kortsluter tonfrekvensspårledningen. För att en spårledning ska indikeras "fri", måste det finnas 500 mV på mottagarsidan. Sjunker den mottagande spänningen till under 290 mV, indikeras spårsträckan "ockuperad" (Sellrup, Wilson, 2015).

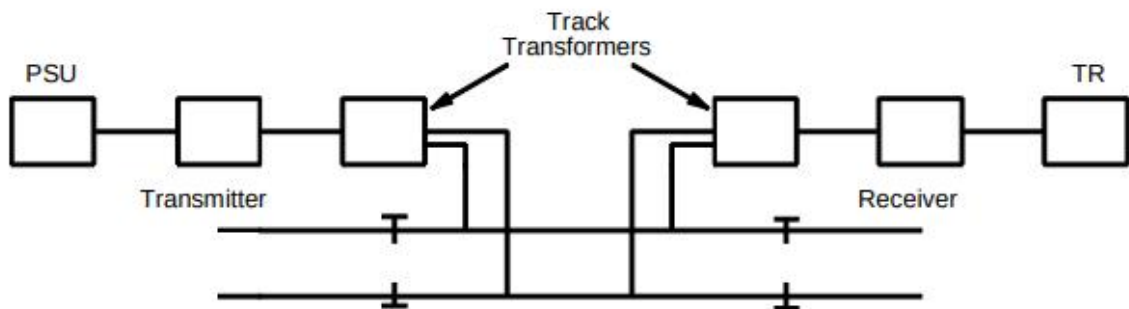
Sammanfattningsvis fungerar tonfrekvensspårledningar genom att kodade elektriska signaler skickas mellan sändar- och mottagarenheter, och dessa signaler kortsluts av spårfordonsaxlar. Signaler "filtreras" mellan varje spårledningssträcka med hjälp av S-förbindelser och eliminerar därmed kravet på fysiska isoleringsskarvar. Tonfrekvensspårledningar lämpar sig att användas i situationer där isolerskarvar av vissa anledningar inte kan användas eller orsakar för mycket underhåll.

2.3.3. Impulsspårledningar

Den här typen av spårledning detekterar spårfordon genom att skicka strömimpulser med hög spänning i rälerarna. Dessa impulser skickas ut med långa, men jämna intervall, och impuls-spänningen måste vara hög för att kunna kompensera för strömförluster i t.ex. rostiga räler, låg ballastresistans etc. Ett spårfordon detekteras genom att spårfordonets hjulaxlar kortsluter strömimpulserna, vilket leder till att spårledningsreläet faller och indikerar att spårledningssträckan är "ockuperad" (Turner, 1998).

Figur 11 visar på ett övergripande sätt hur utrustningen är kopplad till rälerarna. PSU, förkortning för Power Supply Unit förser impulsspårledningen med ström, 110 V växelström. Impulsvågen skapas genom att det i en kondensator laddas upp hög spänning, som sedan laddas ur via en tyristor. Kortfattat kan en

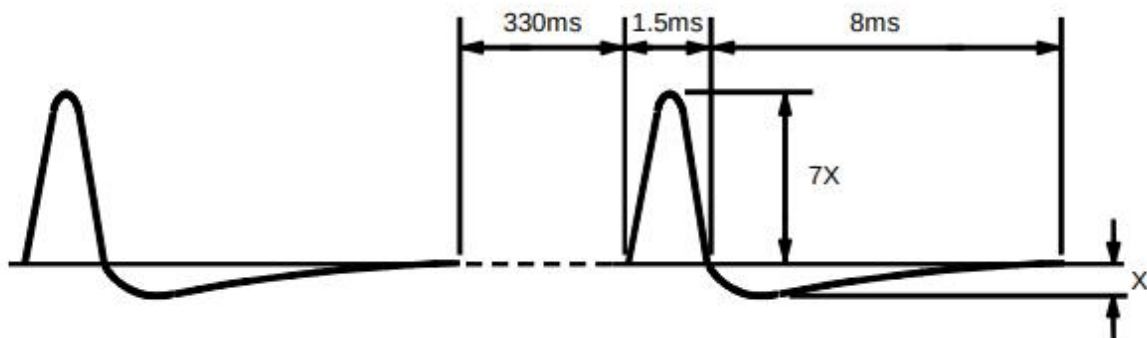
tyristor beskrivas som en styrbar diod, eftersom den fungerar på ungefär samma sätt som en diod, förutom att den även har en s.k. styrelektrod. Normalt sett är en tyristor inte ledande, förutom när den här styrelektroden matas med ström. Genom att styra den ström som styrelektroden matas med, kan även kondensatorns urladdningar styras, och på så sätt uppnås ett önskad impulsintervall. PSU:n tillsammans med räl-transformatorn benämns som transmittor (matare).



Figur 11: Förenklad bild på tonfrekvensspårledningens utformning (Turner, 1998).

Delen betecknad som "reciever" i figur 11 benämns som upptaget. Impulsvågorna som urladdas och färdas genom rälerna tas upp i upptaget och försörjer ett relä med ström, vilket innebär att reläet (TR = track relay) inte behöver en extern strömkälla. Strömmen som tas upp i upptaget likriktas först, eftersom reläet måste drivas med likström. Precis som för vanliga likströmsspårledningar, måste matningen skyddas från yttre spänningar, så som spänning från traktionsmatningen. Det görs genom att seriekoppla ett motstånd. Reläet är av typen permapolariserat relä som endast drar då rätt strömriktning passerar. Spårledningarna skiljs av med hjälp av isoleringsskarvar. När ett tåg kör in på en sektion, kommer hjulaxlarna att kortsluta den elektriska kretsen mellan mataren och upptaget och reläet kommer att falla, precis som för en vanlig likströmsspårledning (Turner, 1998). Ur det perspektivet fungerar systemet i princip exakt som likströmsspårledningar.

Figur 12 visar hur impulsvågens amplitud och våglängd ser ut. Den positiva amplituden som visas i figur 12 skapas av mataren. På grund av matarens och räl-transformatorns induktans tillsammans med rälernas motstånd, skapas även en negativ amplitud som efterföljer den positiva, vanligtvis är amplitudförhållandet 1:7. Amplitudförhållandet är benämnt "7X" och "X" i figur 12 (Turner, 1998).

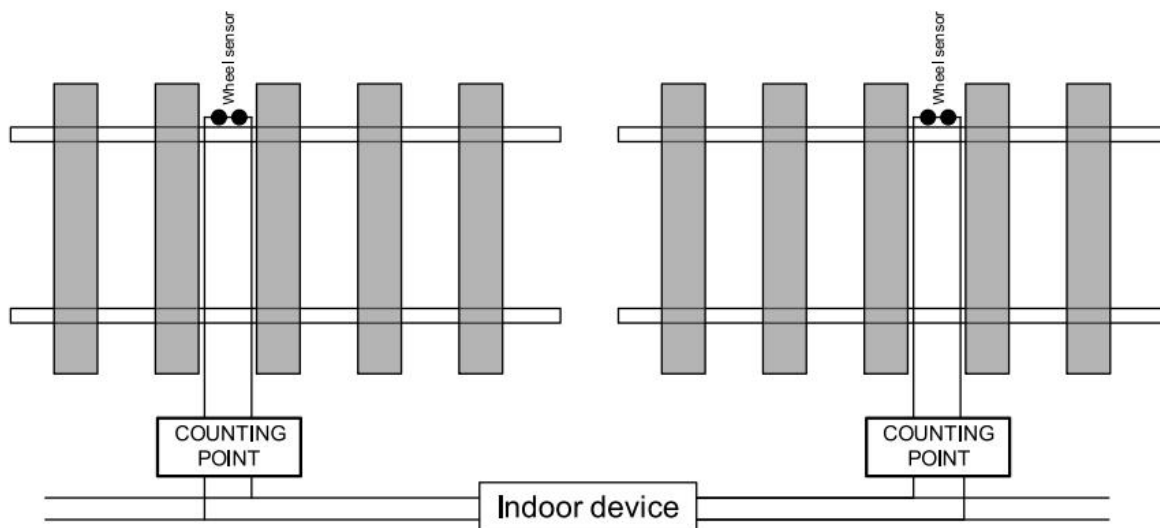


Figur 12: Impulsvågens amplitud och våglängd (Turner, 1998).

2.3.4. Axelräknare

Hinderdetektering med hjälp av axelräknare använder inte I- och S-rälerna som spårledningar, således är isolerskarvar inte nödvändiga och därmed kan båda rälerna vara helsvetsade. Detektering av spårfordon fungerar genom att det finns två detekteringspunkter, en i varje ände av en definierad spårsträcka. Dessa detekteringspunkter består i sin tur av två hjuldetektorer vardera (beror på tillverkare och modell, vissa har endast en detektor), vilket är nödvändigt för att avgöra hastighet och riktning på spårfordonet. Hastighetsdetektering är inte nödvändigt, men kan vara användbart. Då ett spårfordon kör in på en spårsträcka räknas antal axlar som rullar in, vilket sparas i en elektronisk räkne-enhet. För varje detekteringspunkt finns det en räkne-enhet. När spårfordonet kör ur samma spårledningssträcka, räknas återigen antal axlar som rullar ut och sparas i en tillhörande räkne-enhet. Dessa räkne-enheter är kopplade till en och samma dator som utvärderar antalet registrerade axlar, och om antalet in- och utrullade axlar matchar, indikeras sträckan som hinderfri (Sommergruber, 2019).

Figur 13 visar grundprincipen av axelräknare. Funktionerna på detaljnivå ser olika ut beroende på vilket företag som har tagit fram systemet.

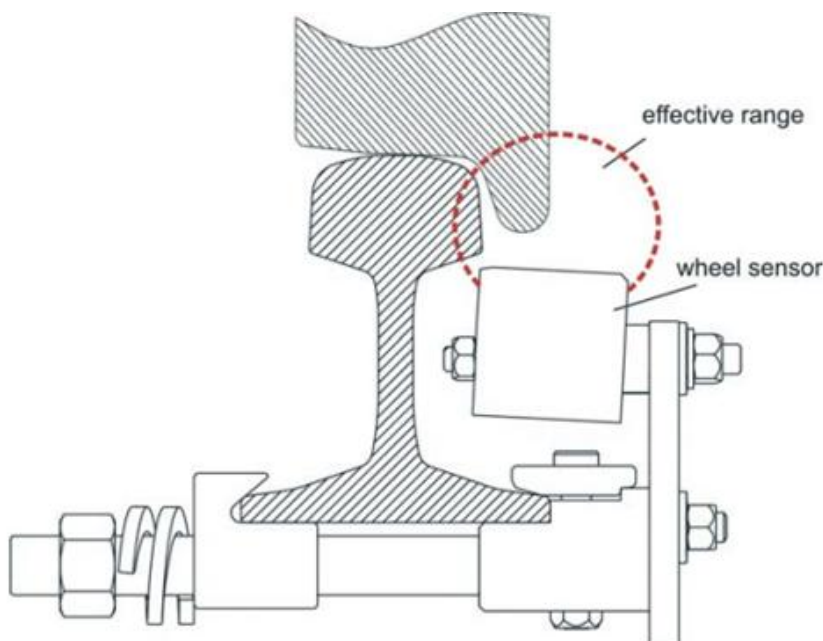


Figur 13: Översiktsbild över hur en axelräknare fungerar (Fersil-railway, u.å).

Det finns enkelsektions- och flersektionsaxelräknare.

Enkelsektionsaxelräknare övervakar endast en sektion/spårsträcka, t.ex. en del av ett enkelspår. Flersektionsaxelräknare med tre eller fler detekteringspunkter, övervakar flera spårsektioner, t.ex. en växel. Se figur 22 på sida 31 (Sommergruber, 2019).

Spårfordonsaxlar kan detekteras på många olika sätt. Grundprincipen är en induktiv hjuldetektor placerad i höjd med räslivet, som med hjälp av magnetiska fält detekterar spårfordonsaxlar. Se figur 14 (Frauscher, 2006).



Figur 14: Induktiv hjuldetektor som är placerad i höjd med räslivet (Frauscher, 2006).

Det finns många olika hjuldetektorer tillgängliga på marknaden, och de fungerar olika beroende på modell och tillverkare. I rapporten "From track switch to inductive wheel sensor using a variety of technologies" (Frauscher, 2006), beskrivs tre olika hjuldetekteringsmetoder som Frauscher har utvecklat. Dessa metoder är:

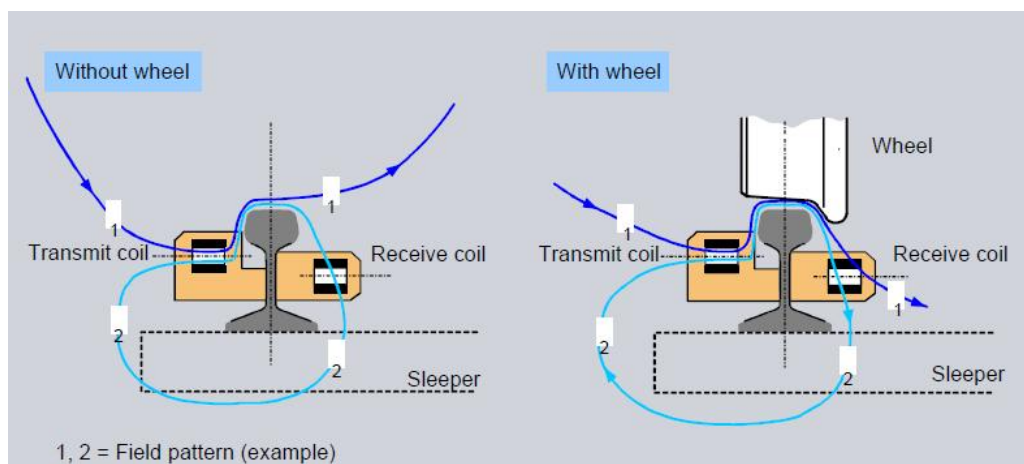
Virvelströmsdetektering/hysteresförluster

För att förstå hur den här metoden fungerar, måste först fenomenet hysteresförluster förklaras. Ett ferromagnetiskt material är ett material som blir magnetiserat då det utsätts för ett annat, variabelt magnetfält. Då en spole matas med växelström och alstrar ett variabelt magnetfält, kommer närvaron av ett ferromagnetiskt material att alstra ett till, variabelt magnetfält, vilket kommer förstärka spolens magnetfält. Magnetiseringen av det ferromagnetiska materialet kommer dock inte att vara synkroniserat med spolens magnetfält, utan det kommer "eftersläpa" (med andra ord finns det en form av remanens i magnetfältet alstrat av det ferromagnetiska materialet). Den här "eftersläpningen" ger upphov till hysteresförluster som är energiförluster i form av värmeutveckling (Brittanica, 2013).

I axelräknarens hjuldetektor finns det en spole som är matad med växelström, och den här spolen alstrar ett variabelt magnetiskt fält. Eftersom spårfordonsaxlar består av ett ferromagnetiskt material, kommer hysteresförluster att uppstå när en spårfordonsaxel passerar hjuldetektorn. Närmare bestämt kommer detta att ske i hjulflänsen som är närmast hjuldetektorn vid passage. Spolen i hjuldetektorn kommer att påverkas av hysteresförlusten i form av en effektförlust, under den korta tidsperioden som spårfordonshjulet passerar hjuldetektorn, och på det sättet detekteras en axel (Frauscher, 2006).

Böjning av magnetiskt fält

I detta fall finns det två spolar, en genereringsspole matad med växelström som genererar ett magnetfält och en detekteringsspole som kan detektera förändringar i detta magnetfält. Eftersom spårfordonsaxeln består av ferromagnetiskt material, alstras ett magnetfält som "böjer" genereringsspolens magnetfält. Det böjda magnetfältet påverkar detekteringsspolen (se figur 15), och på det sättet detekteras en axel (Frauscher, 2006).



Figur 15: Transmit coil (genereringsspole) genererar ett magnetfält som "böjs" vid närvaro av en spårfordonsaxel. Reciever coil (detekteringsspolen) detekterar böjningen (railsystem, u.å.).

Induktionsmetoden

För att förstå hur den här metoden fungerar, måste först fenomenet induktans förklaras. Då en elektrisk ström flödar genom en krets (t.ex. en spole), skapas även ett magnetiskt fält och därmed ett magnetiskt flöde. Om kretsen matas med växelström, kommer en spänning, proportionell mot förändringen i det magnetiska flödet, att induceras (skapas) i den induktiva delen av kretsen (i det här fallet spolen). Närvaron av ett ferromagnetiskt material i spolens magnetfält kommer leda till att ett nytt, variabelt magnetfält alstras. Eftersom den inducerade spänningen är proportionell mot förändringen i det magnetiska flödet, kommer en större spänning att induceras (Britannica, 2018).

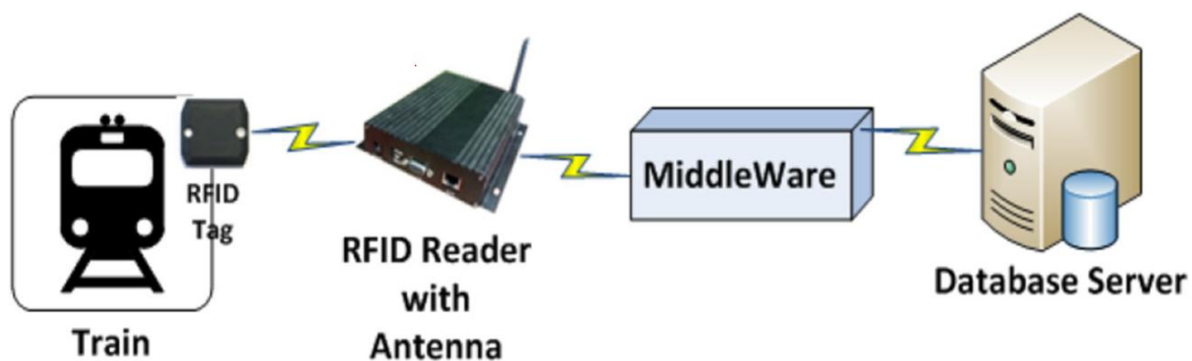
I hjuldetektorns spole induceras det en viss spänning eftersom spolen matas med växelström. Då ett spårfordonshjul passerar en hjuldetektor, kommer dess närvaro att alstra ett nytt variabelt magnetfält, eftersom spårfordonshjulet består av ett ferromagnetiskt material. Detta magnetfält kommer inducera en högre spänning i hjuldetektorns spole, och på det sättet detekteras en förbipasserande spårfordonsaxel (Frauscher, 2006).

Sammanfattningsvis detekteras spårfordonsaxlar genom att en induktiv detektor, på ett eller annat sätt, detekterar en förändring i magnetfältet orsakad av ett förbipasserande spårfordonshjul.

2.3.5.RFID

RFID står för Radio Frequency identification. Det här systemet använder sig av radiovågor för att kommunicera mellan lok och s.k. identifieringstaggar positionerade längs med järnvägen. Då ett tåg passerar dessa identifieringstaggar utbyts information om bl.a. position, hastighet,

företagstillhörighet, vagnsinformation etc. (Aditya et. al, 2013). Figur 16 visar systemets princip.



Figur 16: Översiktlig bild över informationsvägen i ett RFID-system (Aditya et. al, 2013).

Taggarna som är monterade på loket och vagnarna ”aktiveras” då de passerar en RFID-läsare, och behöver därmed inga batterier. Teknologin är lik den som finns i dagens ATC-system. Taggarna kan vara placerade under eller på sidan av vagnarna (Aditya et. al, 2013).

Idag används inte RFID som hinderdetektering i Sverige. Det används istället i syfte att effektivisera och underlätta godstransporterna i Sverige. Med hjälp av RFID kan information fås om var godsvagnar/tåg befinner sig, tågens vagnuppbyggnad, när tågen passerade viktiga punkter osv (Trafikverket, 2018).

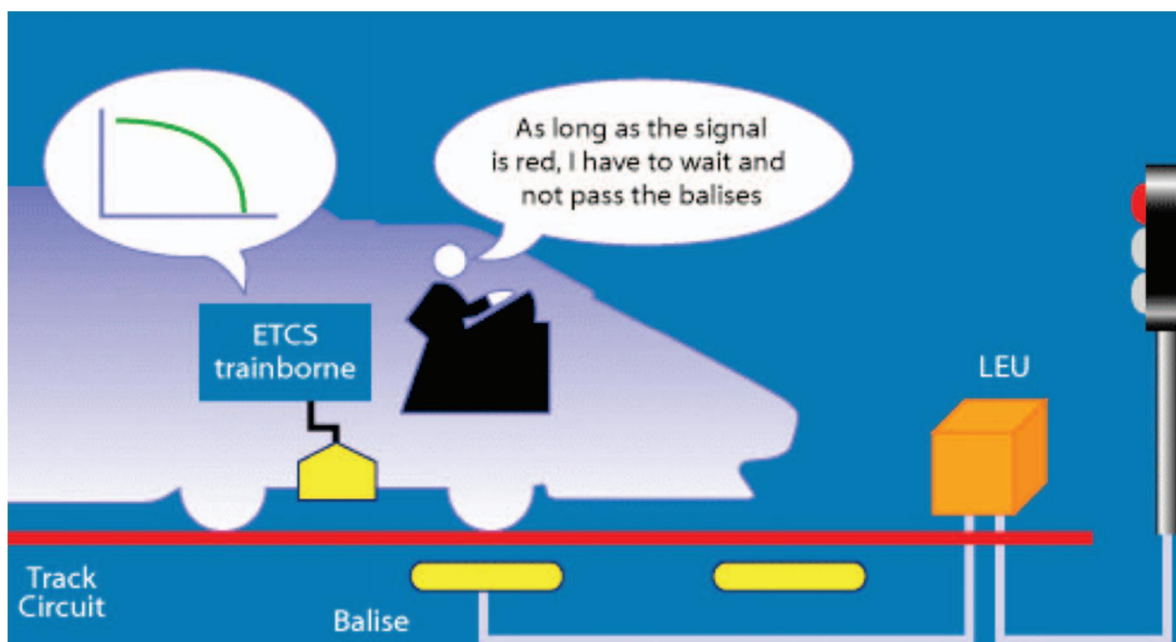
2.3.6.ERTMS och GPS-baserad ”moving block”

Allmänt

ERTMS står för European Rail Traffic Managent System och är nästa generations signalsystem. Syftet är att skapa ett gemensamt europeiskt signalsystem för att underlätta och effektivisera internationella transporter för att få en mer konkurrenskraftig tågtrafik. ERTMS är uppdelat i 3 nivåer, ju högre nivå desto mer avancerat system med fler funktioner (ERMTS, 2017).

Nivå 1

Nivå 1 är det minst avancerade systemet. Det är utformat för att kunna appliceras på linjer utrustade med vanliga ljussignaler samt spårledningar eller andra typer av fysiska hinderdetekteringssystem. Figur 17 visar hur systemet är uppbyggt (ERMTS, 2017).

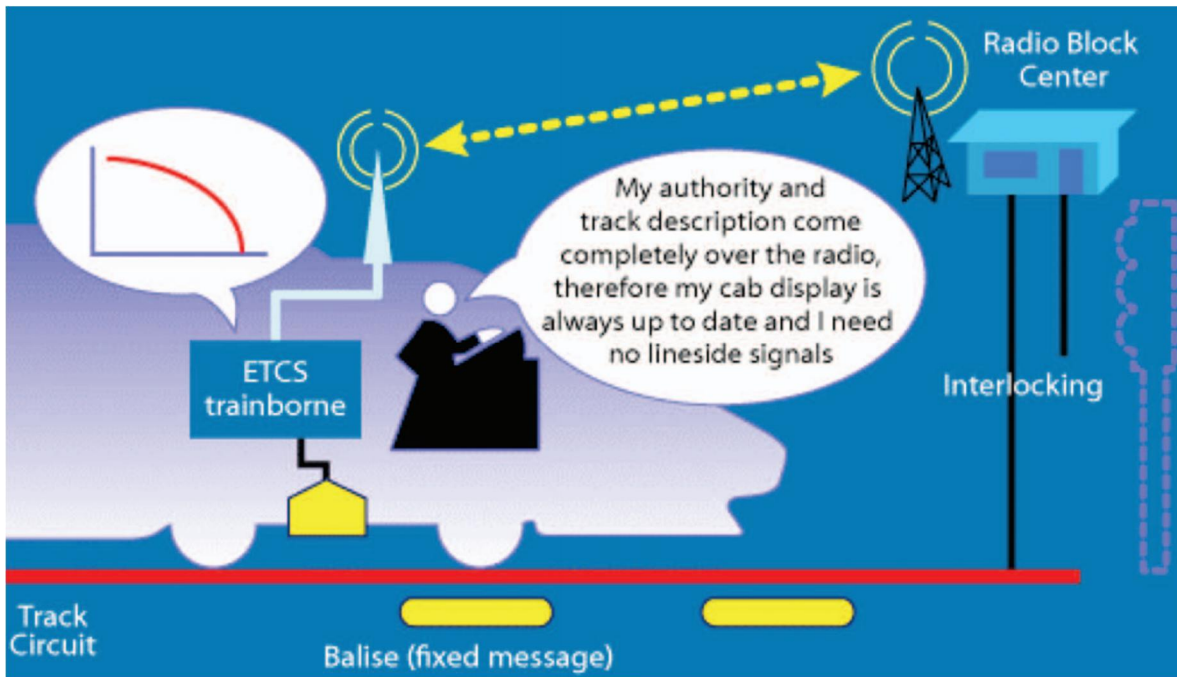


Figur 17: ETCS nivå 1 (ERMTS, 2017).

Systemet liknar dagens ATC-system som finns i Sverige. Eurobaliser placerade längs med järnvägen kommunicerar med tåg utrustade med en kommunikationsenhet och dator. Tåget mottar körbesked, maximal hastighet samt avstånd till nästa signal via eurobaliserna. Datorn ombord på tåget kan sedan räkna ut bromssträcka och bromsa tåget automatiskt om lokföraren kör för fort eller inte bromsar i tid. Systemet är väldigt statiskt eftersom tåget endast kan motta information från eurobaliser, vilket resulterar i lägre kapacitet. Passerar ett tåg en eurobalis och får information att nästkommande signal visar ”stopp”, måste tåget bromsa ner till 10 km/h eller i värsta fall stanna helt, oavsett om denna signal ändrar sitt körbesked till ”kör” under tiden. Först när tåget har stannat, trots att signalen visar ”kör”, kan det accelerera igen (ERMTS, 2017). Detta kan delvis förhindras med repeterbaliser, men det är fortfarande inte optimalt kapacitetsmässigt.

Nivå 2

Banor utrustade med ERTMS nivå 2 använder statiska tavlor istället för ljussignaler. Tåget är utrustat med teknologi för trådlös kommunikation och kommunicerar med ett s.k. Radio Block Centre (RBC) via GSM-R. Tåget mottar kontinuerligt körbesked och annan information via GSM-R, och baliserna förser tåget endast med statisk information så som lutning, STH, avstånd. Figur 18 visar hur systemet är utformat (ERMTS, 2017).

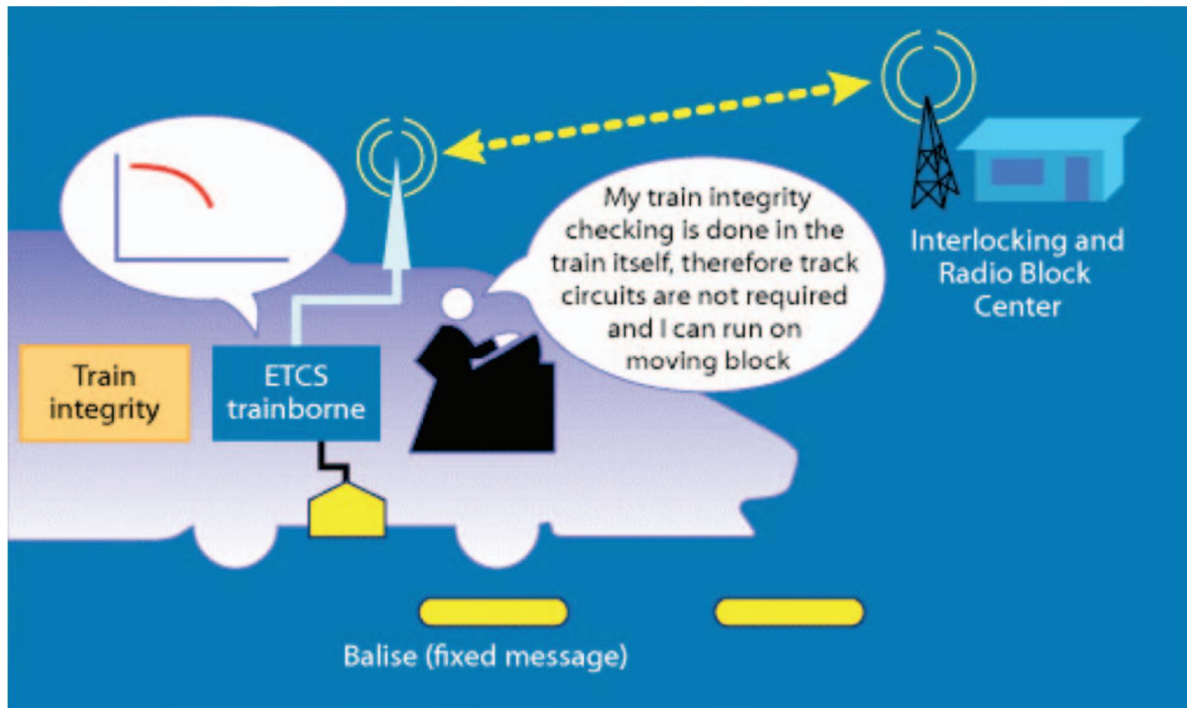


Figur 18: ETCS nivå 2 (ERMTS, 2017).

Nivå 2 använder fysiska hinderdetekteringssystem, t.ex. spårledningar. Tavlor används bland annat i syfte att avgränsa spårledningssträckor. För ett tåg information om att nästa blocksträcka är ockuperad av ett annat tåg, kommer lokdatorn automatiskt att lägga en bromskurva. Skulle den framförvarande blocksträckan bli fri, kommer det bakomvarande tåget direkt att få information via GSM-R, och den lagda bromskurvan kommer att annulleras. Tåget kommer inte att behöva bromsa ner och stanna, till skillnad från nivå 1 (ERMTS, 2017).

Nivå 3

Nivå 3 använder varken ljussignaler eller fysiska hinderdetekteringssystem så som spårledningar eller axelräknare. Baliser kommer fortfarande att finnas längs med järnvägen för att informera passerande tåg om statiska meddelanden, t.ex. lutning, avstånd och STH. Figur 19 visar hur systemet är tänkt att fungera (ERMTS, 2017).



Figur 19: ETCS Nivå 3 (ERMTS, 2017).

Precis som i Nivå 2 kommer tåget att motta körbesked och annan information via GSM-R. Utöver det kommer tågets position att övervakas via GPS och skickas till RBC. Med hjälp av GPS-information om tågets längd, hastighet etc. kommer en virtuell blocksträcka att skapas som följer tågets rörelse. Varje tåg kommer att ha en egen virtuell blocksträcka, och informationen kommer att delas med alla andra tåg på sträckan. På så sätt kan ett tåg anpassa sin hastighet till framförvarande tåg så att avståndet, eller "headway" alltid motsvarar bromssträckan (ERMTS, 2017).

3. Hinderdetekteringssystemens för- och nackdelar, systemjämförelse

För att kunna bedöma vilket hinderdetekteringssystem som är bäst, måste systemens olika funktioner jämföras, och för- och nackdelar vägas samman.

3.1. Likströmsspårledningar

Ur ett användarperspektiv är likströmsspårledningar det bästa hinderdetekteringssystemet på marknaden, eftersom Trafikverket har mycket god och utvecklad kompetens kring systemets funktioner, projektering, underhåll etc. En annan fördel med systemet är att det indirekt kan detektera rälsbrott. Eftersom rälerna används för att sluta den elektriska kretsen mellan matningen och upptaget, kommer denna krets att brytas då ett rälsbrott uppstår. Spårledningsreläet kommer därför inte att matas med ström och sträckan kommer att indikeras som ”ockuperad”, vilket kommer att stoppa tågtrafiken och förhindra potentiella urspårningar. Observera att detta inte fungerar i 100 % av fallen, då kretsen inte alltid bryts av ett rälsbrott. Se bilaga 2 för rälsbrott som inte upptäcks av likströmsspårledningar. Utöver detta kan spårledningssträckor med enkelhet indikeras ”ockuperade” vid underhållsarbete (Kozol & Thurston, u.å.). Genom att kortslua spårledningen med ett kontaktdon och på det sättet simulera en kortslutande spårfordonsaxel, kan underhållsarbetare med säkerhet veta att spårledningen är ockuperad och därmed fri, se figur 20.



Figur 20: Kontaktdon som används för att kortslua spårledningar vid bl.a. underhållsarbeten (Safetrack, 2019).

Nackdelarna med likströmsspårledningar är att det ur ett tekniskt perspektiv är ett underhållskrävande och föråldrat system med vissa begränsningar. För att separera två intilliggande spårledningar krävs isoleringsskarvar i rälerna. Isoleringsskarvar kan förlora isoleringsförmågan på grund av överledning eller slitage. Överledning kan uppstå vid t.ex. blöta/fuktiga väderförhållanden, lövtäckta spår eller järnstoft som bidras av inbromsande tåg. Detta är förhållanden som är väldigt vanliga i Sverige. Spårledningar är

beroende av god ballastkvalitet. Låg ballastresistans mellan rälerna på grund av t.ex. fuktig miljö, mycket växtlighet etc. kan leda till falsk beläggning. Jordmagnetiska krafter kan utgöra ett störningsmoment som kan orsaka felaktiga beläggningsindikeringar. Spårfordonens axlar måste uppfylla vissa krav för att garantera kortslutning av spårledningen (Kozol & Thurston, u.å.). Utöver detta har spårledningar en begränsad längd, eftersom resistansen i rälerna ökar med längden. Spårledningar får max vara 2500 m långa, och då krävs det två matningar. Faktorer som begränsar längden på en spårledning är bl.a. elektrisk avledning i spåret, resistans i spårledningskretsen och störningskänslighet, och dessa faktorer måste tas i beaktning vid projektering. 2500 m är ett maximum under optimala förhållanden. Spårledningar får endast användas på sträckor där trafiken kör maximalt 250 km/h, jämfört med 450 km/h för axelräknare (Sommergruber, 2019).

Sammanfattningsvis har likströmsspårledningar följande för- och nackdelar:

Fördelar:

- Välbeprövad teknik som har använts länge
- Indirekt detektering av rälsbrott
- Enkelt att kortsluta spårledningar med hjälp av kontaktdon vid underhållsarbeten

Nackdelar:

- Känslig mot ballastresistans, jordmagnetiska krafter, överledning och andra störningsfenomen. T.ex. kan rostiga räler, våt/fuktig ballast, lövtäckta räler, salter/mineraler leda till falsk beläggning
- Spårfordonsaxlar måste uppfylla vissa krav för att med säkerhet kortsluta spårledningar
- Kräver isoleringsskarvar
- Har en begränsad längd, maximalt 2500 m vid optimala förhållanden, 1600 m. för höghastighetsjärnväg
- Kan detektera tåg i hastigheter upp till 250 km/h

3.2. Tonfrekvensspårledningar

Tonfrekvensspårledningar fungerar ungefär likadant som likströmsspårledningar. Den största skillnaden, och största fördelen, är att det inte krävs isoleringsskarvar. Systemet används därför i situationer där isoleringsskarvar inte kan användas, eller orsakar för mycket underhåll. Det innebär dock att systemet är mycket mer komplicerad (och därmed dyrare),

vilket ökar risken för fel och haverier. Även underhållskostnaderna är högre (Network-rail, 2019). Utöver det har tonfrekvensspårledningar samma nackdelar som vanliga likströmsspårledningar. Det är känsligt mot dålig ballastresistans, jordmagnetiska krafter, fuktig miljö och andra störningsfenomen som kan leda till falsk beläggning (Kozol & Thurston, u.å.).

Sammanfattningsvis har tonfrekvensspårledningar följande för- och nackdelar:

Fördelar:

- Indirekt detektering av rälsbrott
- Kräver inte isoleringsskarvar i rälerna, vilket eliminerar risken för t.ex. övervalsning
- Enkelt att kortsluta spårledningar med hjälp av kontaktdon vid underhållsarbeten

Nackdelar:

- Känslig mot ballastresistans, jordmagnetiska krafter, överledning och andra störningsfenomen. T.ex. kan rostiga räler, våt/fuktig ballast, lövtäckta räler, salter/mineraler leda till falsk beläggning
- Spårfordonsaxlar måste uppfylla vissa krav för att med säkerhet kortsluta spårledningar
- Dyrare system jämfört med vanliga likströmsspårledningar
- Har en begränsad längd, oklart hur lång

3.3. Impulsspårledningar

För- och nackdelarna med impulsspårledningar är relativt lika för- och nackdelarna med spårledningar. Den största skillnaden, och den största fördelen, är att impulsspårledningar är konstruerade för att fungera trots de störningsmoment som kan orsaka falsk beläggning, t.ex. låg ballastresistans och högt motstånd i rälerna (Turner, 1998). På grund av detta är underhålls- och investeringskostnaderna högre (Network-Rail, 2019) och hela systemet mycket mer komplicerat, vilket ökar risken för fel.

Sammanfattningsvis har impulsspårledningar följande för- och nackdelar:

Fördelar:

- Indirekt detektering av rälsbrott
- Konstruerad för att klara av störningsmoment, t.ex. lågt ballastmotstånd och hög resistans i rälerna

- Enkelt att kortsluta spårledningar med hjälp av kontaktdon vid underhållsarbeten

Nackdelar:

- Spårfordonsaxlar måste uppfylla vissa krav för att med säkerhet kortsluta spårledningar
- Dyrare system jämfört med vanliga likströmsspårledningar
- Har en begränsad längd, oklart hur lång
- Kräver isoleringsskarvar i rälerna

3.4. Axelräknare

Axelräknare har fler fördelar och färre nackdelar jämfört med de spårledningstyper som hittills redovisats. Eftersom grundprincipen inte bygger på en sluten krets som kortsluts, elimineras beroendet av bra banöverbyggnad och optimala väderförhållanden. Ballastresistansen spelar ingen roll, inte heller motståndet i rälerna. Dessutom krävs inga isoleringsskarvar vilket eliminerar de problem som uppstår med övervalsning (Kozol & Thurston, 2019). Moderna axelräknarsystem är i stort sett underhållsfria, och kräver endast kontroller av detektorerna en gång vartannat år. Efter 30 år i drift måste en större och mer omfattande kontroll utföras (Sommergruber, 2019).

Strömförbrukningen för axelräknarsystem är låg jämfört med spårledningar. Detta eftersom det inte finns en sluten krets som förbrukar stora mängder ström hela tiden. Indirekt kan axelräknare upptäcka om en vagn har tappats eller om en axel har sparat ur. Eftersom antalet detekterade axlar måste vara lika många in på spårsträckan som ut, kommer systemet att indikera ockuperad/belagd i de fall då en vagn omedvetet kopplas bort eller om en axel spårar ur. En spårsträcka övervakad med hjälp av axelräknare kan teoretiskt sätt vara oändligt lång, jämfört med maximalt 2500 m för spårledningar. Det innebär att stora underhålls- och investeringskostnader kan sparas om axelräknare används på långa blocksträckor (Sommergruber, 2019). En 10 km lång blocksträcka måste utrustas med minst 4 spårledningar:

$$\frac{10 \text{ km}}{2,5 \text{ km}} = 4$$

I detta fall är axelräknare mycket mer fördelaktiga då endast en axelräknare krävs för att övervaka hela blocksträckan.

Nackdelarna med axelräknare är att rälsbrott inte kan upptäckas. Det går heller inte att vid underhållsarbete fysiskt kortsluta axelräknare med ett kontaktdon.

Alternativt kan underhållsarbetare använda något metalliskt redskap vid själva detekteringspunkten för att simulera en passerande axel, men det är mycket mer omständligt jämfört med kontaktdon, och kräver omstart i efterhand (Kozol & Thurston, u.å.). Normalt sett utförs inte underhållsarbete på det sättet, utan specifika procedurer följs (Sommergruber, 2019).

Enligt rapporten ”From track switch to inductive wheel sensor using a variety of technologies” (Frauscher, 2006) finns det många olika fenomen som kan påverka hjuldetektorerna, och som måste tas i beaktning vid utveckling av dessa. Dessa fenomen är:

Den omgivande temperaturen

Temperaturen i själva banöverbyggnaden kan variera från -40°C till 85°C (upp till 60°C i de nordiska länderna), vilket kan orsaka störningar. Spolarna i hjuldetektorerna är oftast gjorda av koppar och måste isoleras mot fukt, regn och snö. Isoleringen medför högre temperatur i spolen vilket i sin tur leder till följande problem: Resistansen i kopparspolen ökar med temperaturen och minskar spolens effektivitet. Eftersom spolen i hjuldetektorn alstrar ett magnetfält som detekterar spårfordonshjul, måste spolen vara tillräckligt effektiv för att ett tillräckligt starkt magnetfält ska alstras. Värmen leder även till högre dielektriska förluster (energiförluster) i isoleringsmaterialet som finns mellan spollindningarna, vilket försämrar spolens effektivitet ytterligare. Sambandet mellan värmeökningen och den dielektriska förlusten är inte linjär. Förlusterna ökar markant vid temperaturer över 60 (Frauscher, 2006).

Rältemperaturen

Temperaturen i rälen kan variera från -40°C till 100°C . Eftersom hjuldetektorn är placerad intill rälslivet, kommer dess förmåga att detektera hjul påverkas av rälets egenskaper. Rälets permeabilitet och konduktivitet förändras med temperaturförändringen, vilket kommer påverka hjuldetektorns magnetfält och därmed förmågan att detektera spårfordonshjul (Frauscher, 2006).

Påverkan från traktionsmatningens returströmmar

Den ström som tågen har förbrukat och som återmatas i S-rälen ger upphov till magnetiska fält. Dessa magnetiska fält påverkar spolarnas magnetfält direkt, och även indirekt genom att förändra permeabilitet i rälen. Effekten av detta kan dock reduceras genom att inte leda returströmmen i S-rälen där det finns

hjuldetektorer, utan koppla S-rälen till en specifik återledningskabel (Frauscher, 2006).

Förändringar i traktionsmatningens returströmmar

Om returströmmarna från tågen hade varit konstanta, hade hjuldetektorerna kunnat utformas för att enkelt tolerera det genererade magnetfältet.

Returströmmarna kan dock variera mycket eftersom lokens elkonsumtion varierar (t.ex. ökad elkonsumtion vid acceleration), vilket leder till att olika magnetfält genereras, och det måste tas i beaktning (Frauscher, 2006).

Påverkan från närliggande utrustning

Transformatorer, spolar, likriktare, växelriktare osv. alstrar magnetfält med olika styrkor och frekvenser, vilket även påverkar hjuldetektorerna i olika grad (Frauscher, 2006).

Påverkan från telekommunikationsutrustning

Telekommunikationsutrustning som finns längs med järnvägen kommunicerar med tågen i olika frekvensområden, och dessa kan påverka hjuldetektorerna (Frauscher, 2006).

Påverkan från induktionsbroms/magnetskenbroms

Vissa tåg är utrustade med magnetskenbroms, t.ex. SJ:s X2 modell. Dessa bromsar alstrar kraftiga magnetfält vid nödbromsning som kan påverka hjuldetektorerna (Frauscher, 2006).

Påverkan från vibrationer och dynamiska krafter

Vibrationer och dynamiska krafter kan uppstå på grund av hjulplattor, dåliga stötdämpare, sinusgång, vågor och räfflor i rälerna etc. Dessa krafter kan potentiellt påverka hjuldetektorerna negativt (Frauscher, 2006).

Sammanfattningsvis har axelräknare följande för- och nackdelar:

Fördelar:

- Axelräknarsystem är inte ballastberoende
- Krävs inga isoleringsskarvar vilket eliminerar överledning
- Är inte traktionsberoende, dvs. spårfordonsaxlarnas resistans spelar ingen roll
- Låg strömförbrukning jämfört med spårledning

- Axelräknare är i stort sett underhållsfria, en större kontroll måste utföras efter 30 år
- Teoretiskt sätt kan spårsträckor övervakade med axelräknare vara oändligt långa
- Har mycket högre tillförlitlighet jämfört med spårledning, upp till 5 gånger högre. Det medför lägre underhållskostnader och färre avbrott i tågtrafiken
- Kan indirekt upptäcka om ett tåg har tappat en vagn
- Kan indirekt upptäcka om en vagn har spårat ut
- Kan detektera tåg i hastigheter upp till 450 km/h

Nackdelar:

- Kan inte detektera rälsbrott
- Kan inte fysiskt kortslutas med kontaktdon vid underhållsarbete vilket medför en viss osäkerhet
- Svårigheter att detektera små hjul (diameter mindre än 30 cm). Det beror dock på modell och tillverkare

3.5. RFID

RFID är ett mångsidigt system. Fördelarna är att mycket information kan överföras till exempelvis tågledningscentralerna. Information om exakt hur många vagnar som har passerat en viss punkt, vagnarnas företagstillhörighet, exakt position etc. (Aditya et. al, 2013).

Nackdelarna är att RFID inte används som hinderdetekteringssystem idag, och det krävs en del utveckling för att möjliggöra detta. En annan nackdel är att varje lok och vagn måste utrustas med RFID taggar. Till skillnad från axelräknare och spårledningar där all detekteringsutrustning befinner sig längs med järnvägen, är RFID beroende av att tågen är utrustade med ID-taggar. Det finns även risk att ID-taggar inte fungerar korrekt, har trillat av eller inte har satts fast på vagnarna från början, och sker det så kan de inte detekteras överhuvudtaget. Det finns heller inte ett fail-safe system som stoppar tågen då ett fel uppstår. Eftersom systemet detekterar tågagnar istället för tågaxlar, kan det medföra att ”osynliga vagnar” åker med ett tåg, om dessa vagnar inte är utrustade med ID-taggar (Aditya et. al, 2013).

Sammanfattningsvis har RFID följande för- och nackdelar:

Fördelar:

- Kan utbyta mycket information om varje individuell vagn
- Kan detektera tåg i hastigheter upp till 400 km/h

Nackdelar:

- Finns inget färdigt hinderdetekteringssystem
- Krävs ID-taggar på varje tåg vagn
- Inget fail-safe system

3.6. GPS-baserad "moving block"

ERTMS nivå 3 med GPS-baserad "moving block" har många fördelar jämfört med fysiska hinderdetekteringssystem. För det första krävs det ingen fysisk utrustning i banöverbyggnaden så som ljussignaler, axelräknare, spårledningar, isolerskarvar etc., vilket minskar underhållsbehovet avsevärt. "Moving block" bidrar också till avsevärt högre kapacitet. Med en virtuell blocksträcka för varje spårfordon möjliggörs tätare tågföljd, jämfört med vanliga blocksträckor. I dagsläget kan kapacitet på en järnvägssträcka höjas genom att fler blocksträckor byggs ut. Det innebär dock kostsamma och omfattande utbyggnationer. För att få samma kapacitet som virtuella blocksträckor med vanlig linjeblockering (kräver hinderdetekteringssystem som t.ex. axelräknare eller spårledningar) krävs det många blocksträckor och många mellanblockssignaler. Vid t.ex. fel i järnvägsanläggningen eller ombyggnation av en tungt trafikerad bana, kommer närliggande banor med vanligtvis låg trafik att behöva leda om stora mängder tåg. Är dessa banor utrustade med få eller inga blocksträckor alls, kommer kapaciteten inte att räcka till, och flertal tåg kommer behövas ställas in. Det är heller inte rimligt att utrusta alla banor i ett geografiskt avgränsat område med hög kapacitet när utnyttjandegraden i vanliga fall är väldigt liten. Ur det perspektivet är "moving block" väldigt framtidssäkert, då ingen ny infrastruktur behöver byggas för att höja kapaciteten.

Utöver detta är "moving block" inte beroende av väder, miljö eller banöverbyggnadens skick. Inga isoleringsskarvar krävs (ERTMS, 2017).

Nackdelarna med "moving block" är att systemet är under utveckling. Det har utförts många tester runt om i Europa som inte har uppnått önskade resultat. Utvecklingen är på gång men det kommer att ta tid. Det får inte förekomma några som helst säkerhetsmässiga brister eftersom konsekvenserna kan bli

katastrofala. Andra nackdelar är att rälsbrott inte kan detekteras. Vid underhållsarbeten går det heller inte att fysiskt markera att en spårsträcka är ockuperad, jämfört med spårledning där endast ett kontaktdon krävs (ERTMS, 2017).

Sammanfattningsvis har ”moving block” följande för- och nackdelar:

Fördelar:

- Inte nödvändigt med traditionell hinderdetektering så som axelräknare eller spårledning
- Inga blocksignaler krävs
- Mindre kostnad ju längre järnvägssträckan är
- Högre kapacitet utan behov av investering i fler blocksträckor
- Inget behov av isoleringsskarvar
- Ingen risk för signalfel orsakade av t.ex. spårledningsfel
- Exakt avstånd till framförvarande tåg kan hållas kontinuerligt under färden

Nackdelar:

- Kan inte detektera rälsbrott
- Problematik vid underhåll på järnvägen
- Systemet är under utveckling och många tester har gjorts, som dock inte har uppnått önskade resultat
- Svårighet med att säkert kunna detektera fordonen

3.7. Sammanfattad jämförelse

Tabell 2 visar en sammanfattad jämförelse mellan alla hinderdetekteringssystem och även olika tillverkare. Jämförbara för- och nackdelarna har jämförts. De olika tillverkarna redovisas i kapitel 4.

Tabell 2: Sammanfattad jämförelse mellan alla hinderdetekteringssystem

	Axelräknare			Spårledning			RFID	Moving Block
	Frauscher	Siemens	Altpro	Likström	Impuls	Tonfrekvens	Tagmaster	
SIL	4	4	4	-	-	-	-	-
STH	450	400	350	250	250	250	400	∞
Största tillåtna spåravsnittslängd	∞	∞	∞	2500 m	2500 m	2500 m	-	-
Max antal utvärderingsenheter/detekteringspunkter per spårsträcka	20	Ej angivet	8	-	-	-	-	-
Behov av isolskarvar	Nej	Nej	Nej	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej
Rälsbrottsindikering	Nej	Nej	Nej	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej
Vagnsförlustsindikering	Ja	Ja	Ja	Ja, indirekt	Ja, indirekt	Ja, indirekt	Ja	Ej utvecklat än
Banarbetsindikering	men inte fysisk	Ej angivet	Ej angivet	Ja, med kontaktdon	Ja, med kontaktdon	Ja, med kontaktdon	Ej angivet	Ej utvecklat än
Urspårningsindikering	Ja, indirekt	Ja, indirekt	Ja, indirekt	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej
Ballastberoende	Nej	Nej	Nej	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej
Fordonsberoende	Delvis	Delvis	Delvis	Ja, traktionsberoende	Ja, traktionsberoende	Ja, traktionsberoende	Nej	Nej
Kan användas vid stationsområden, rangerbangårdar etc	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ej utvecklat än
Omstarts- och testfunktioner	Ja	Ej angivet	Ej angivet	-	-	-	Ja	-
Möjlighet att användas som hinderdetektering idag	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej

4. Tillverkare

För att kunna avgöra vilket hinderdetekteringssystem som är bäst, måste olika tillverkare jämföras. Tillverkarnas egna system är snarlika, men det kan finnas skillnader som kan vara avgörande. Spårledningssystem är ett system som Trafikverket själva har kompetens om, och det är inget som upphandlas. Andra system som axelräknare eller RFID är framtagna och patenterade av olika företag, och det är något som Trafikverket måste upphandla enligt lagen om offentlig upphandling.

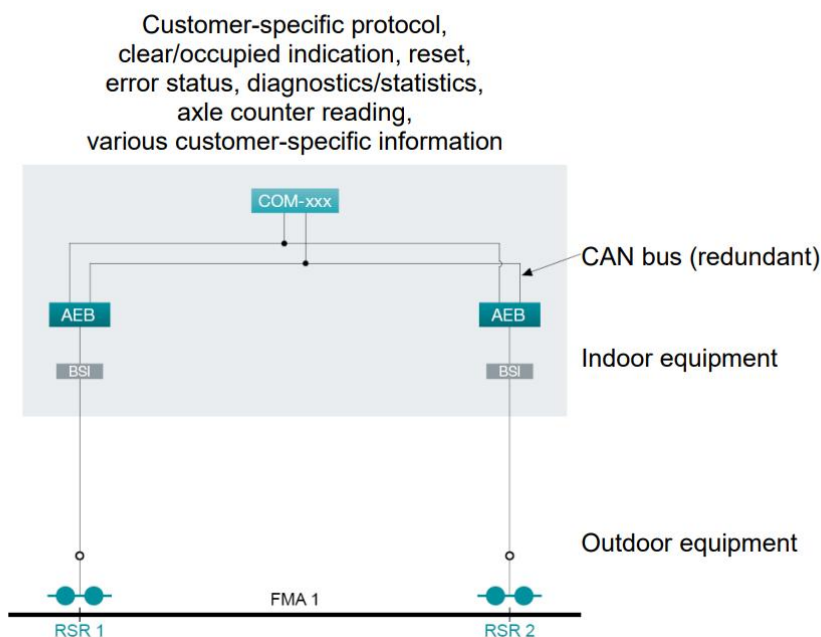
4.1. Axelräknare

4.1.1. Frauscher Sensor Technology

Frauscher Sensor Technology erbjuder 3 olika kompletta axelräknare. Dessa är FAdC R2, FAdCi och ACS2000 (Sommergruber, 2019).

FAdC R2

Detta system är Frauschers mest avancerade axelräknare. Figur 21 visar hur systemet är uppbyggt.

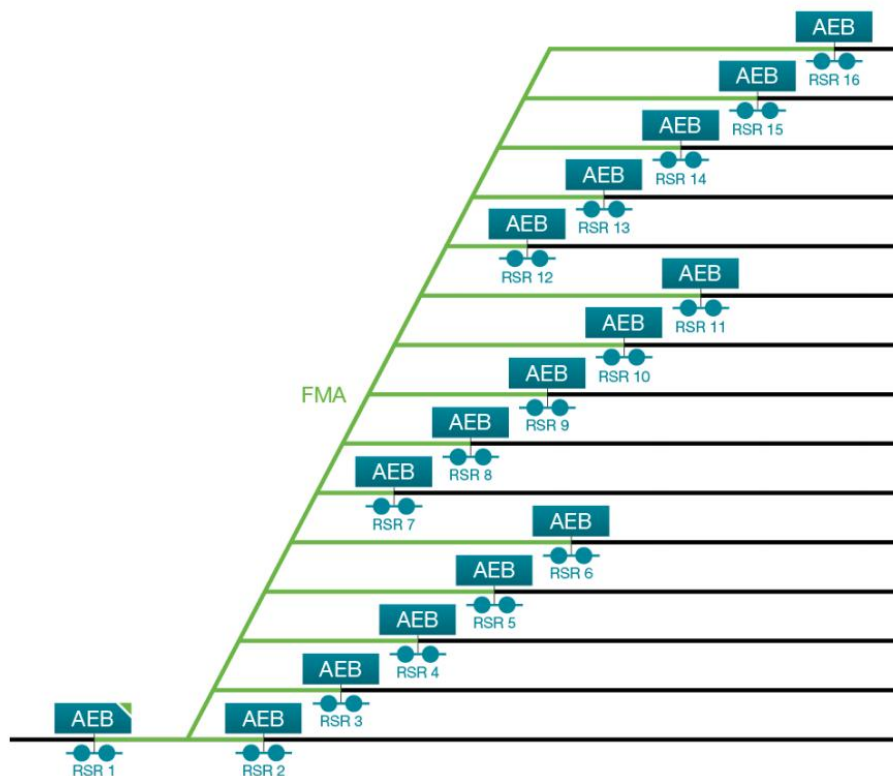


Figur 21: Översiktlig beskrivning över systemet FAdC R2 (Sommergruber, 2019).

FAdC R2-systemet kan användas som enkel- eller flersektionsaxelräknare. Systemet består av 3 olika huvuddelar; hjuldetektor RSR, utvärderingsenhet AEB samt dator COM. Utöver dessa 3 huvuddelar finns det även en del komponenter som kompletterar systemet, t.ex. överspänningsskydd BSI.

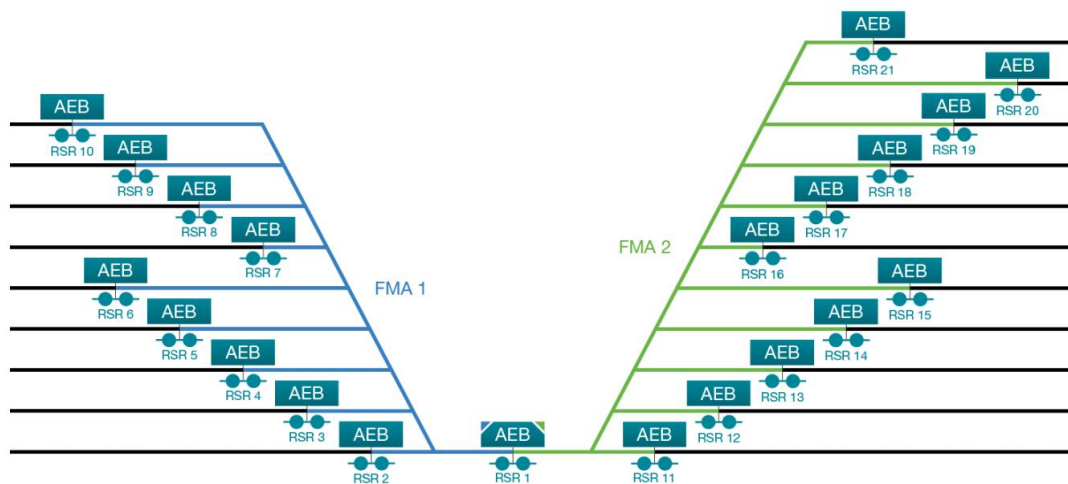
Den övervakade spårsträckan betecknas FMA 1, och i varje ände finns hjuldetektorerna RSR. RSR detekterar både hastighet och riktning på det passerande spårfordonet. Dessa hjuldetektorer är kopplade till utvärderingsenheter lokaliserade inomhus, via ”four-wire”-kretsar. Utvärderingsenheterna betecknas AEB (Advanced Evaluation Board), och dessa utvärderar hur många axlar som passerar detekteringspunkten samt hastighet och riktning. Kommunikationen mellan utvärderingsenheterna sker via en s.k. CAN-buss, och när informationsutbytet har skett, indikerar utvärderingsenheterna om spårsträckan FMA 1 är fri/ockuperad. Denna indikering skickas vidare till en dator som också är kopplad till samma CAN-buss, och som kan kommunicera med ett datorställverk, t.ex. ställverk 95, via Ethernet. Alternativt kan utvärderingsenheterna kommunicera med ett relä och på så sätt även fungera med ett reläställverk, t.ex. ställverk 59 (Sommergruber, 2019).

En spårsträcka/sektion (FMA) kan bestå av upp till 16 detekteringspunkter, se figur 22.



Figur 22: Visar hur många detekteringspunkter (RSR) och utvärderingsenheter (AEB) en spårsträcka (FMA) maximalt kan bestå av (Sommergruber, 2019).

Vid två angränsande spårsträckor/sektioner där båda övervakas av axelräknare, kan upp till 20 detekteringspunkter användas, se figur 23.



Figur 23: Visar maximalt antal detekteringspunkter (RSR) och utvärderingsenheter (AEB) som kan användas vid 2 angränsande spårsektioner (FMA 1 och FMA 2) (Sommergruber, 2019).

Systemet är i stort sett underhållsfritt. En gång vartannat år måste detekteringspunkterna kontrolleras, och kontrollerna tar endast några minuter med erfaren underhållspersonal. Efter att systemet har varit i drift i 30 år, måste en mer omfattande kontroll utföras (Sommergruber, 2019).

Systemegenskaper:

- Uppnår SIL 4
- Fungerar i hastigheter upp till 450 km/h
- Kan detektera hastighet och riktning
- Kan detektera maximalt 8191 axlar
- Fungerar både med datorställverk och reläställverk
- Utrustningen placerad i banöverbyggnaden tål temperaturer mellan -40 och 85
- Fungerar på stationer, linjer, vägskydd etc.
- Spårsträckorna kan teoretiskt sätt vara oändligt långa
- Flexibelt system som till viss del kan skräddarsys efter beställarens önskemål
- Underhållsfritt system som endast kräver kontroller av detekteringspunkterna vartannat år
- Automatisk justering och optimering av hela systemet
- Systemet har flera olika avancerade reset-funktioner

FAdCi

Detta system är en budgetvariant a FAdC R2. Utformningen ser likadan ut som för FADC R2, men andra komponenter används. De komponenter som används är RSR, AEBi och COMi (Frauscher, 2019a).

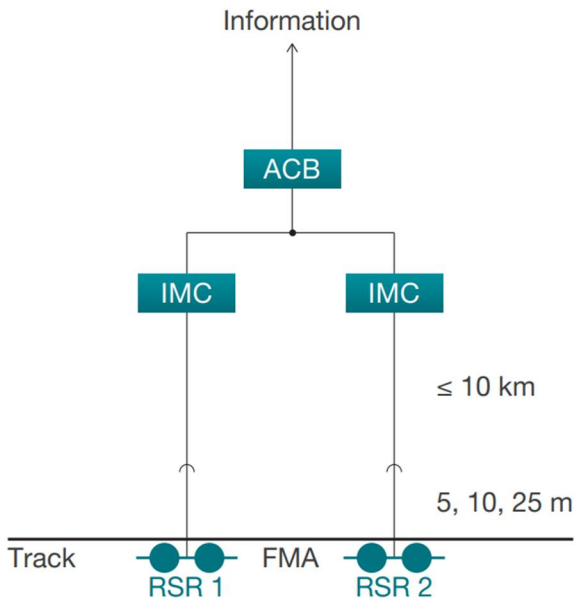
Systemegenskaper:

- Uppnår SIL 3
- Fungerar i hastigheter upp till 80 km/h
- Kan detektera hastighet och riktning
- Utrustningen placerad i banöverbyggnaden tål temperaturer mellan -40 och 85 °C
- Spårsträckorna kan teoretiskt sätt vara oändligt långa
- Flexibelt system som till viss del kan skräddarsys efter beställarens önskemål
- Underhållsfritt system som endast kräver kontroller av detekteringspunkterna vartannat år

Eftersom systemet endast uppfyller SIL 3 och en maximal hastighet på 80 km/h, kan det inte användas på t.ex. linjer. Lämpliga användningsområden kan t.ex. vara industrispår med låg hastighet, rangerbangårdar, spårvägar etc. (Frauscher, 2019a).

ACS2000

ACS2000 är en av Frasuchers äldre system. Det är inte lika avancerat som de andra 2 modellerna, men har ändå många bra systemegenskaper. Gränssnittet är universellt utformat så att system ska kunna användas i många olika anläggningar, t.ex. linjer, stationer, vägskydd etc. De komponenter som används är hjuldetektor RSR, Utvärderingsenhet IMC och Axelräknarenhet ACB. Se figur 24 för utformning (Frauscher, 2019b).



Figur 24: Översiktsbild över systemet ACS2000 (Frauscher, 2019)

Kommunikationen mellan ACB och ställverket kan endast ske via reläer, till skillnad från FAdC. Med andra ord indikeras spårsträckan fri eller ockuperad via ett relä. Annan information, t.ex. diagnostik, kan överföras via optokopplare (Frauscher, 2019b).

Systemfunktioner:

- SIL 4
- Fungerar i hastigheter upp till 450 km/h
- Kan överföra diagnostiska data
- Information om spårsträckans status (fri/ockuperad) kan endast överföras via relä
- Fungerar på linjer, växlar, vägskydd etc.

4.1.2. Siemens

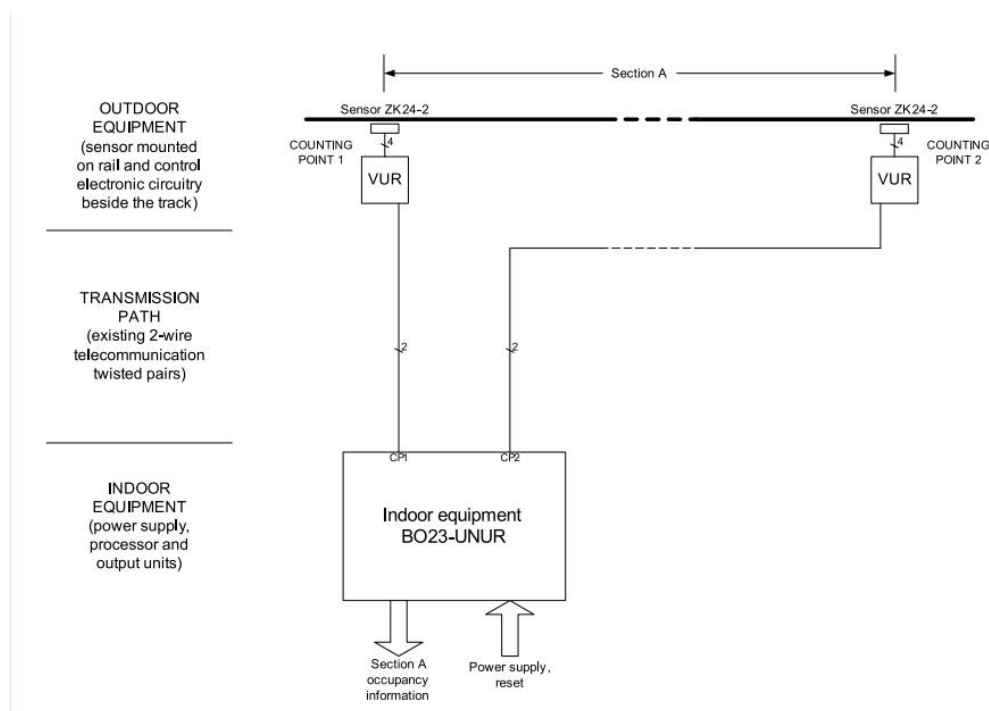
Siemens är ett välkänt, globalt företag som tillverkar allt från diskmaskiner till traktionsmatning. Siemens erbjuder ett axelräknarsystem. Informationen är begränsad till den information som finns tillgänglig på deras hemsida, då ingen kontakt har upprättats med Siemens. Axelräknarsystemet heter Clearguard ACM 200. Det består av Clearguard ACM 200 moduler som kan programmeras med id-pluggar, likt dagens ATC-baliser. Informationen som modulerna skickar/tar emot skickas via Ethernet. Dessa moduler är kompatibla med 3 olika Siemens-detekteringsenheter, Clearguard ZP D 43, ZP D 43 E och ZP D 43 V (Siemens, 2019).

Systemegenskaper:

- SIL 4
- Fungerar i hastigheter upp till 400 km/h
- Kommunikation baserad på Ethernet
- I stort sett underhållsfritt system, krävs regelbundna kontroller av detekteringspunkterna
- Information om spårsträckans status (fri/ockuperad) kan även överföras via reläer
- Fail-Safe utformning

4.1.3. Altpro

Altpro erbjuder ett axelräknarsystem. Informationen är begränsad till den information som finns tillgänglig på deras hemsida, då ingen kontakt har upprättats. Systemet består av BO23 UNUR (dator) placerad inomhus, VUR (utrustning kopplad till detekteringspunkterna) samt hjuldetektorerna ZK24-2. Figur 25 visar hur systemet är uppbyggt. Det kan användas som enkel- eller flersektionsaxelräknare. Maximalt antal detekteringspunkter som kan kontrolleras av en dator är 8 st. Systemet fungerar i hastigheter upp till 350 km/h (Altpro, 2019).



Figur 25: Beskriver översiktligt hur Altpros axelräknarsystem är utformat (Altpro, 2019).

Systemegenskaper:

- SIL 4
- Kan detektera tåg i hastigheter upp till 350 km/h

- Fungerar på linjer, stationer och vägskydd
- Kan kommunicera med både dator- eller reläställverk via nätverkskabel eller relä
- Automatisk diagnostisering av systemet
- Fail-safe utformning

4.2. RFID

4.2.1. Tagmaster

Tagmaster erbjuder många olika RFID-lösningar. Det finns dock inget hinderdetekteringssystem, utan produkterna är utformade för andra syften. Det finns flera olika typer av läsare, både slipersmonterade och lokmonterade (Tagmaster, 2019). Vilka modeller och exakt hur de fungerar kommer inte att tas upp.

Systemegenskaper

- Fungerar i hastigheter upp till 400 km/h
- Underhållsfria taggar som fungerar utan batterier
- Används för att överföra information om position, riktning, företagstillhörighet etc.

5. Investerings-, underhålls- och livscykelkostnader

5.1. Allmänt

För att kunna göra en samhällsekonomisk bedömning måste investeringskostnaderna samt underhållskostnaderna för de olika hinderdetekteringssystemen tas i beaktning. I rapporten “Axle Counters – The New Zealand Experience” framtagen av Institution of Railway Signal Engineers Australasia, IRSE (Clendon & Skilton, 2010), har investerings- och underhållskostnader för axelräknare jämförts med några olika spårledningssystem. Syftet med rapporten är att jämföra investerings- och underhållskostnader för axelräknare med alla typer av spårledningar, eftersom axelräknare baserade på induktiva hjuldetektorer är en relativt ny teknik, jämfört med övriga spårledningssystem. Av den anledningen beskrivs investerings- och underhållskostnader för axelräknare mer detaljerat jämfört med övriga hinderdetekteringssystem, som endast illustreras i diagrammen.

5.2. Investeringskostnader

I många fall kan investeringskostnaderna vara avgörande för valet av hinderdetekteringssystem. Det finns dock vissa typer av hinderdetekteringssystem som måste användas i vissa specifika situationer, vilket gör investeringskostnaderna mindre relevanta eftersom systemegenskaperna i dessa fall är avgörande. Det är dock viktigt att ta investeringskostnader i beaktning eftersom det kan finnas situationer där det är avgörande.

Investeringskostnaderna har tagits fram genom att beräkna kostnaden för att köpa in all nödvändig utrustning, installationskostnad, kostnad för tester och kostnader för idrifttagning. Eftersom det finns en mängd olika axelräknarsystem tillgängliga på marknaden med olika kostnader och olika funktioner, har ett medelvärde beräknats. Den genomsnittliga kostnaden för att utrusta en spårsträcka med axelräknare i Nya Zeeland är ca 22 500 NZD, vilket motsvarar ca 142 000 SEK (Clendon & Skilton, 2010). Diagram 1 jämför investeringskostnaderna mellan de olika hinderdetekteringssystemen.

De 6 hinderdetekteringssystem som jämförs, utöver axelräknare, är:

- AC immune DC: Likströmsspårledning med växelströmsskydd (motsvarar den vanligaste typen av likströmsspårledning som används i Sverige)
- AC Double Element (Single Rail Traction)

- HVI (Single Rail Traction): Impulsspårledning
- AC Double Element (Double Rail Traction)
- Audio Frequency Jointless: Tonfrekvensspårledning
- HVI (Double Rail Traction): Impulsspårledning

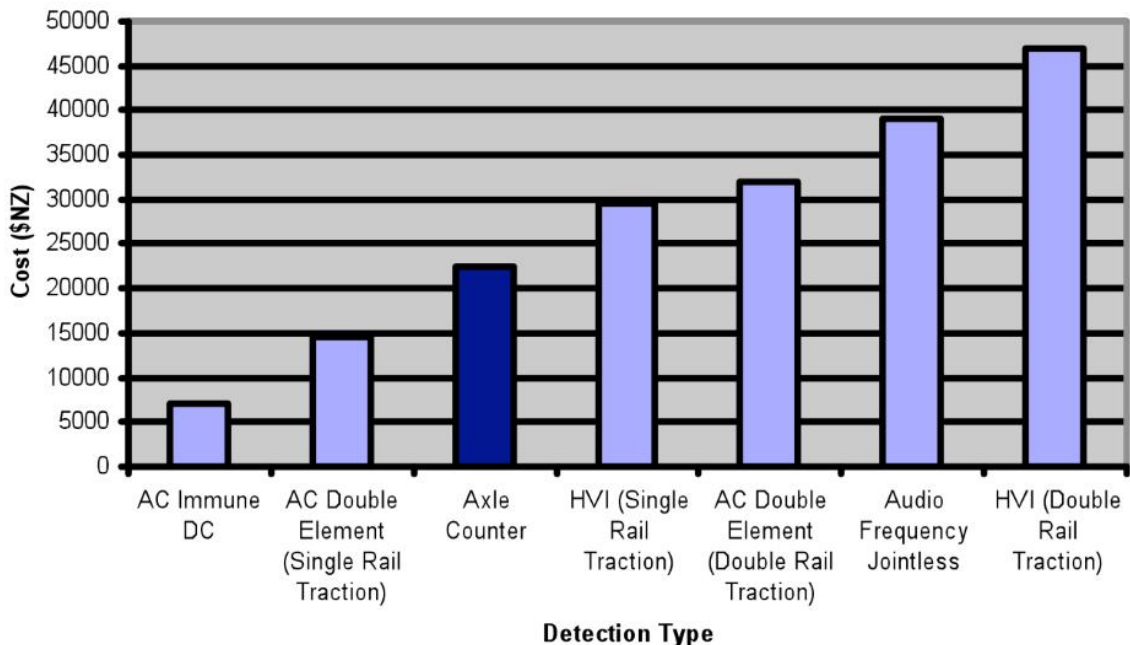


Diagram 1: Investeringskostnader för olika hinderdetekteringssystem (Clendon & Skilton, 2010).

5.3. Underhållskostnader

Underhållskostnader delas upp i följande tre kostnadsmoment:

- Förebyggande åtgärder
- Återställning och reparation av fel
- Kostnader för förseningar orsakade av fel

Förebyggande åtgärder innefattar årliga kontroller av bl.a. detekteringspunkterna i axelräknarsystemen, samt andra nyckelkomponenter i de andra hinderdetekteringssystemen. För en spårsträcka utrustad med axelräknare blir de årliga kostnaderna för de förebyggande åtgärderna 200 NZD, eller 1 260 SEK, då det antas att kontrollerna kräver 4 arbetstimmar. För att beräkna kostnaden för reparation och återställning av trasiga hinderdetekteringssystem har MTBF använts. MTBF står för "Mean Time Before Failure" och är ett mått på hur långt tid, i genomsnitt, ett system kan användas innan en komponent går sönder. I rapporten används MTBF för axelräknare framtagna empiriskt på olika tåglinjer i Storbritannien. Den mest moderna tåglinjen utrustad med axelräknare uppnådde MTBF på 34 år. I rapporten har dock en MTBF på 20 år används eftersom det anses mer realistiskt på grund av förhållandena i Nya Zeeland. Det har även antagits att

reparationskostnaderna är 20% av investeringskostnaderna, och detta ger en årlig genomsnittlig reparationskostnad på 225 NZD (1 418 SEK) per axelräknare. Förseningar som uppkommer på den Nyzeeländska järnvägen värderas till 5 000 NZD/timme (31 530 SEK/timme). För att beräkna årliga förseningskostnader har det antagits att varje fel tar 2 timmar att reparera, och det resulterar i en genomsnittlig årlig kostnad på 500 NZD (3 153 SEK) per axelräknare. Summan av dessa tre kostnadsmoment resulterar i en underhållskostnad för axelräknare på 925 NZD (5 833 SEK) per år. Kostnaderna för förebyggande åtgärder är dubbelt så höga för spårledningar jämfört med axelräknare, eftersom det krävs 2 underhållsarbetare för att utföra alla nödvändiga kontroller. För spårledningar är MTBF ungefär lika hög som för axelräknare, när det gäller huvudkomponenterna. Problemet med spårledningar är dock oftast inte huvudkomponenterna, utan det är banöverbyggnaden som sänker MTFB markant. Låg ballastresistans, hög resistans i rälerna och isoleringsskarvar är några av de yttre faktorerna som sänker MTBF för spårledningar till 6 år (Clendon & Skilton, 2010). Diagram 2 jämför underhållskostnaderna för de olika hinderdetekteringssystemen.

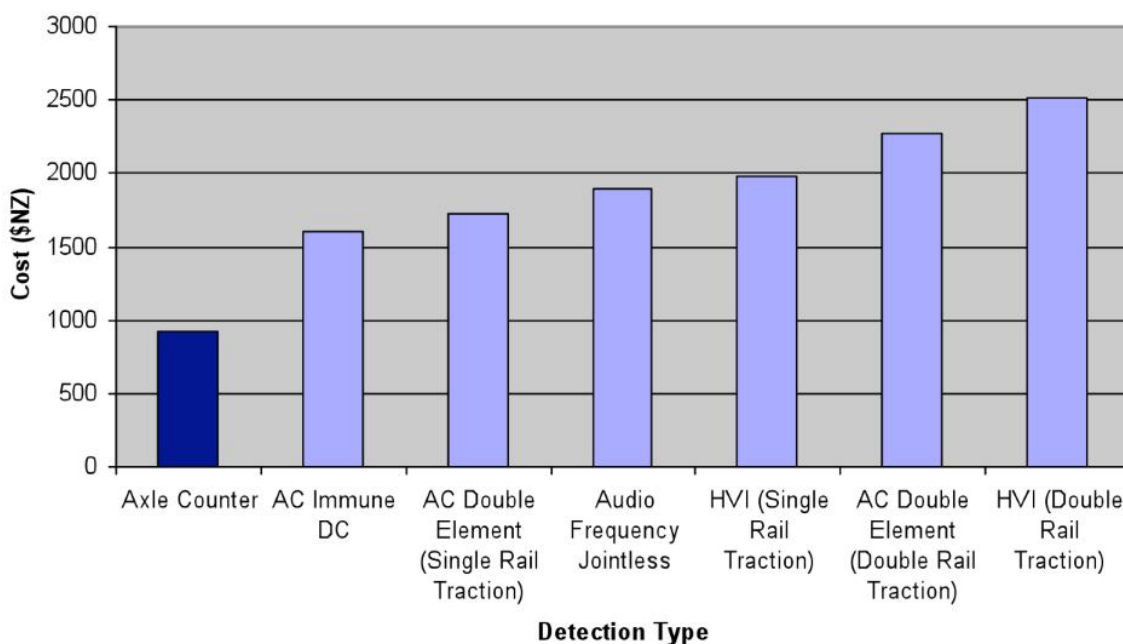


Diagram 2: Årliga underhållskostnader för olika hinderdetekteringssystem (Clendon & Skilton, 2010).

5.4. Livscykelkostnader

5.4.1. IRSE (Nya Zeeland)

Livscykelkostnader som IRSE har tagit fram är en sammanvägning av investerings- och underhållskostnaderna som redovisats i föregående del. Totalkostnad för de olika hinderdetekteringssystemen redovisas i diagram 3 (Clendon & Skilton, 2010).

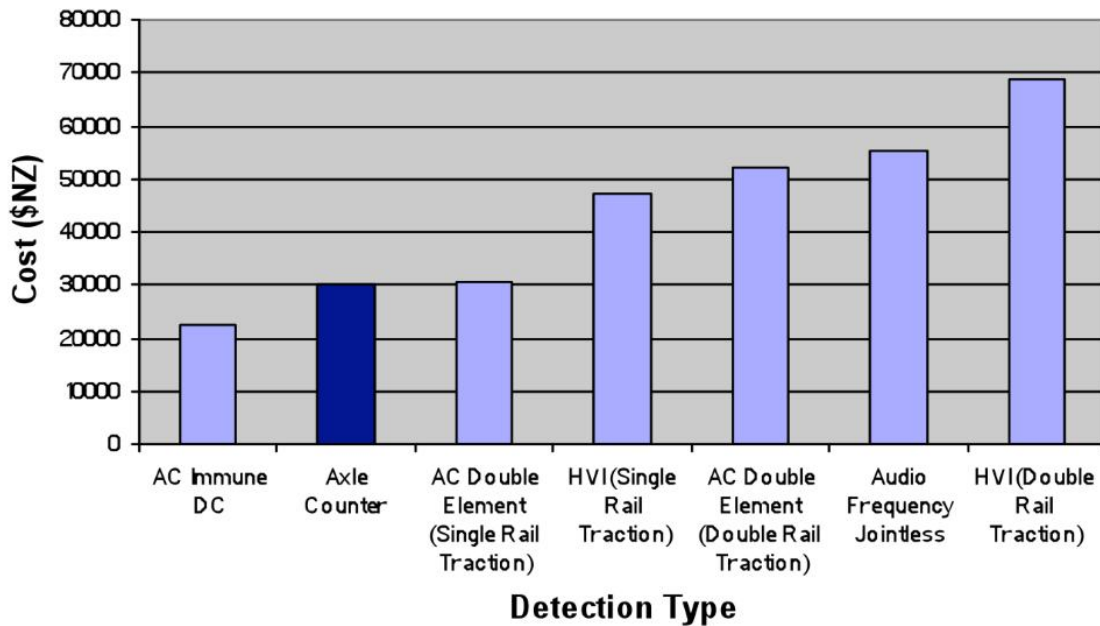


Diagram 3: Livscykelkostnader för olika hinderdetekteringssystem, 20-årsperiod (Clendon & Skilton, 2010).

Enligt Clendon & Skilton kostar ett axelräknarsystem 30 000 NZD (187 000 SEK) under en livstid, jämfört med 22 000 NZD (137 000 SEK) för spårledning. Beräkningsperioden är 20 år.

5.4.2. Network-Rail, Storbritannien

Network-Rail äger och förvaltar den brittiska järnvägen. De har tagit fram livscykelkostnader för de olika hinderdetekteringssystemen. Diagram 4 visar livscykelkostnaderna för de olika hinderdetekteringssystemen över en 100-årsperiod, och diagram 5 visar vilka kostnader som ingår (Network-Rail, 2019).

Cumulative Cash Flows

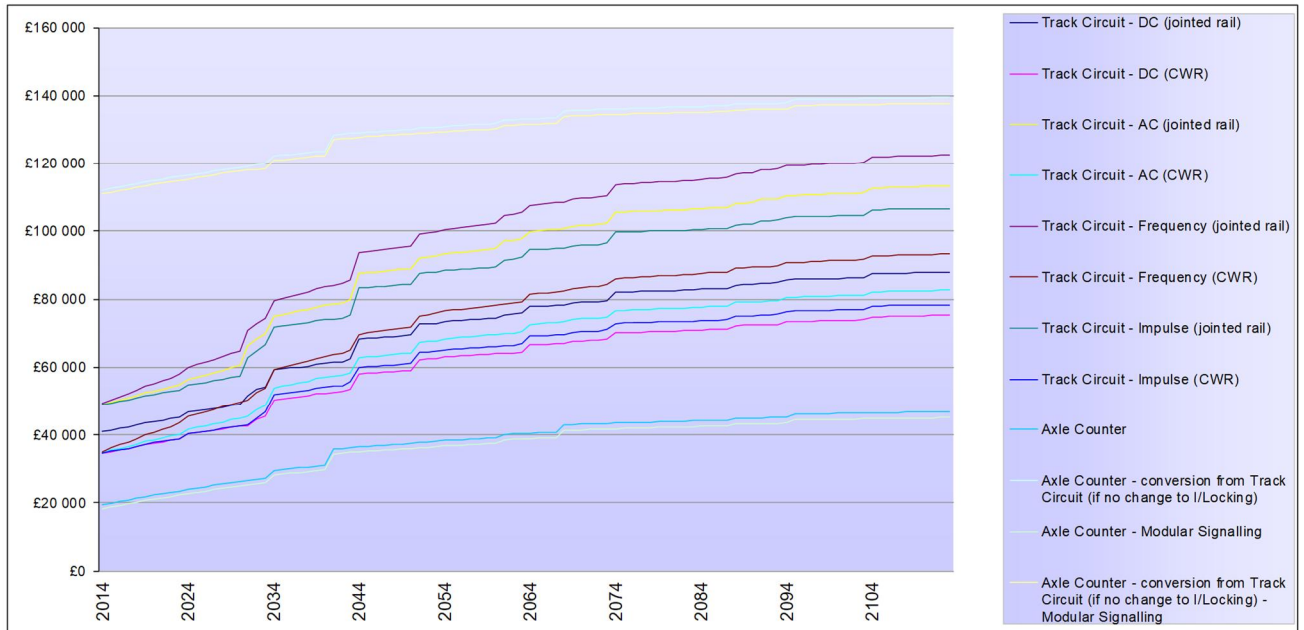


Diagram 4: Livscykelkostnader för de olika hinderdetekteringssystemen över en 100-årsperiod (Network-Rail, 2019)

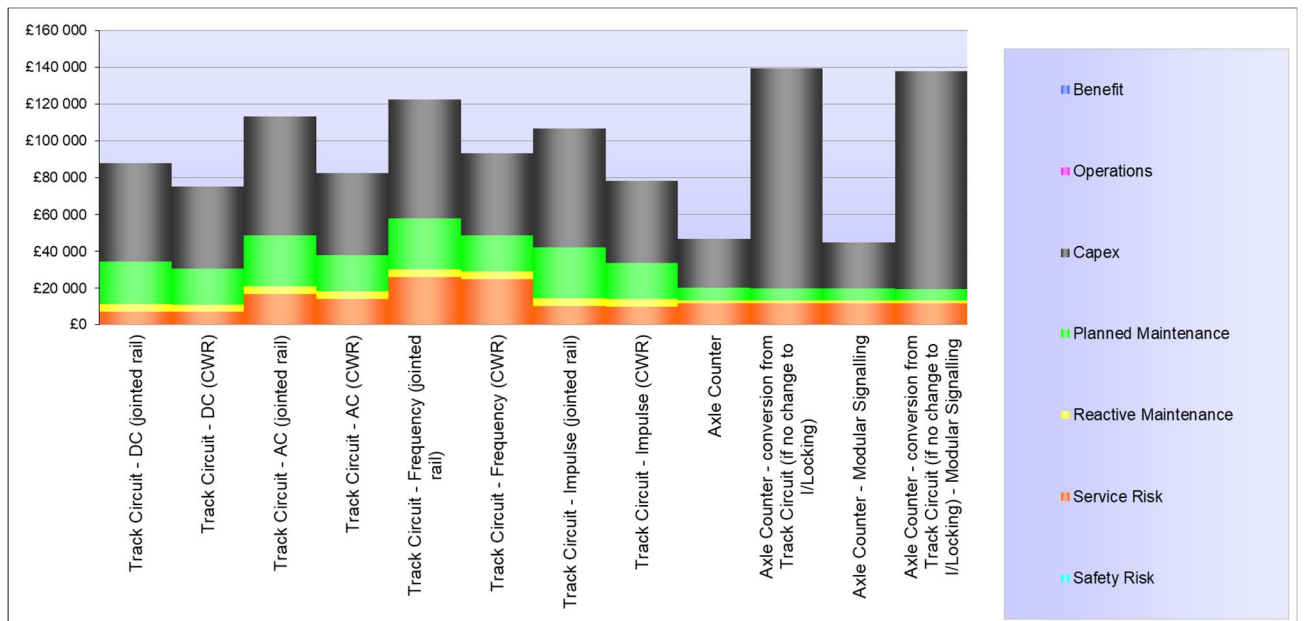


Diagram 5: Livscykelkostnader för olika hinderdetekteringssystem, uppdelat på kostnadskategori. (Network-Rail, 2019)

Benefit och operations i diagram 5 är lika med 0 £. ”Capex” innebär anläggningkostnader, dvs. kostnader för att projektera och bygga ett system. ”Safety risk” syns inte i diagrammet eftersom det utgör en liten del av den totala livscykelkostnaden. ”Planned maintenance” är kostnader för planerat underhåll, t.ex. kontroll av detekteringspunkter hos axelräknare. ”Reactive

maintenance” är sådant underhåll som sker på grund av att oväntade fel uppstår (avhjälpande underhåll). Totalt sett är axelräknare det minst kostsamma systemet.

Se bilaga 3 för exakt nedbrytning av alla kostnader.

6. Signalfels- och förseningsstatistik

6.1. Sverige

De fel och störningar som uppkommer på den svenska järnvägsanläggningen rapporteras i olika system som Trafikverket förvaltar. OFELIA är ett system där alla fel, oavsett typ, rapporteras in. Lupp är ett system som huvudsakligen behandlar statistik för trafikstörningar, och här lagras alla trafikstörande händelser (Trafikverket, 2019). Hur pålitlig inrapporteringen i dessa system är har inte undersökts.

Det är viktigt att få en uppfattning om hur många signalfel som uppstår i den svenska järnvägsanläggningen för att kunna bedöma konsekvenserna av dessa. Signalfel som uppstår, oavsett orsak, kan leda till stora förseningar för både persontrafik och godstrafik, vilket i sin tur leder till stora samhällsekonomiska förluster. För att kunna avgöra vilket hinderdetekteringssystem som är mest samhällsekonomiskt lönsamt, är det viktigt att jämföra bl.a. signalfelsstatistiken för de olika systemen, dvs. undersöka hur många fel varje system ger upphov till, och därmed få en uppfattning om hur många förseningsminuter som har orsakats. Ju färre fel som uppstår på den svenska järnvägen, desto färre förseningsminuter orsakas vilket leder till ökad pålitlighet och ett ökat förtroende för resenärer och speditörer.

6.1.1. Signalfel

Signalfel som uppstår uppdelas i följande anläggningsskategorier enligt Trafikverket:

- Balis-grupp
- Plankorsning
- Positioneringssystem (annan term för hinderdetekteringssystem)
- Rangerställverk
- Signal
- Signalställverk, RBC och linjeblockeringssystem
- Tavla
- Tågledningssystem- EBICOS 900 och EBICOS 900 NT
- Tågledningssystem- EBICOS TMS

Signalfelsstatistik från 2010 till 2018 har studerats. Diagram 6 visar hur många signalfel av alla typer som har inträffat i Sverige för åren 2010–2018 (Trafikverket, 2019). Observera att diagrammet börjar på 7200.

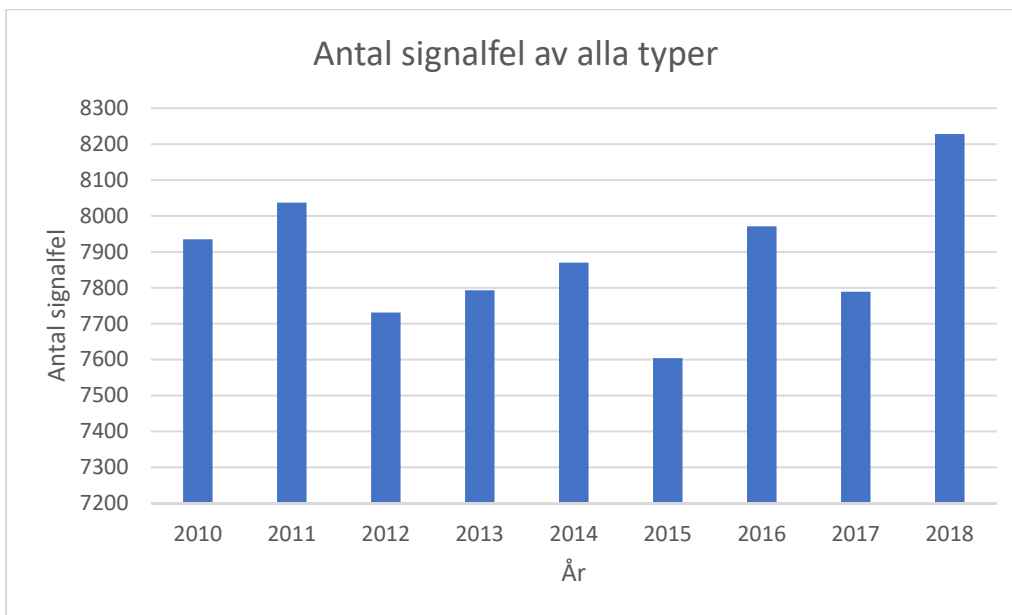


Diagram 6: Antal signalfel av alla typer i hela Sverige

Skillnaderna mellan vissa år är relativt stora, men det går inte att dra en slutsats om varför. Ökningen för 2018 kan dock bero på den extremt varma sommaren som kan ha orsakat t.ex. solkurvor och möjligtvis även fler fel i signalsystemen jämfört med tidigare år.

Diagram 7 visar en mer noggrann uppdelning av antal signalfel i Sverige. Sveriges (Trafikverkets) järnvägsanläggning är uppdelat efter 5 banregion (Trafikverket, 2019):

- Norr
- Syd
- Öst
- Mitt
- Väst

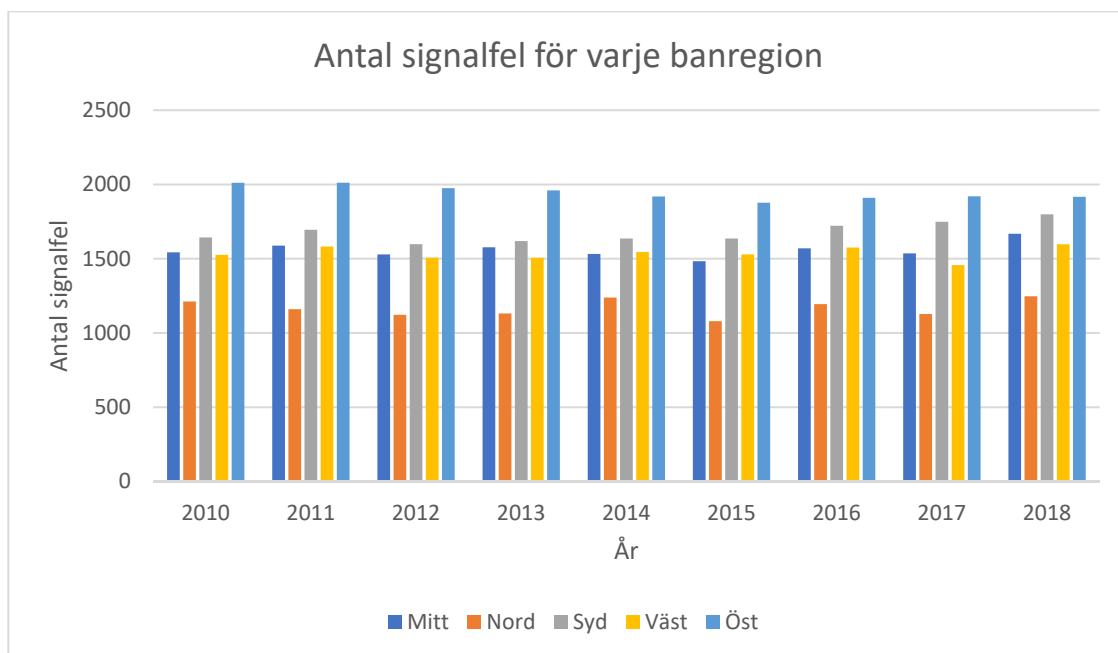


Diagram 7: Antal signalfel i hela Sverige uppdelat efter varje banregion (Trafikverket, 2019)

Skillnaden i antal signalfel beror främst på att själva anläggningsmassan är olika för de olika banregionerna. Antal signalfel i banregion Öst har succesivt minskat från 2010 till 2018, medan banregion Syd ser en ökning. Övriga banregioner ser ingen tydlig ökning eller minskning.

Diagram 8 illustrerar antal signalfel orsakade av felaktiga/trasiga hinderdetekteringssystem, i jämförelse med det totala antalet signalfel som har inträffat för åren 2010–2018. Spårledningsfel utgör nästintill 100 % av alla hinderdetekteringsfel. Axelräknare används inte som hinderdetekteringssystem på den svenska järnvägen, mer än på vissa delar på Öresundsbron, och är därför inte inräknad i statistiken (Trafikverket, 2019).

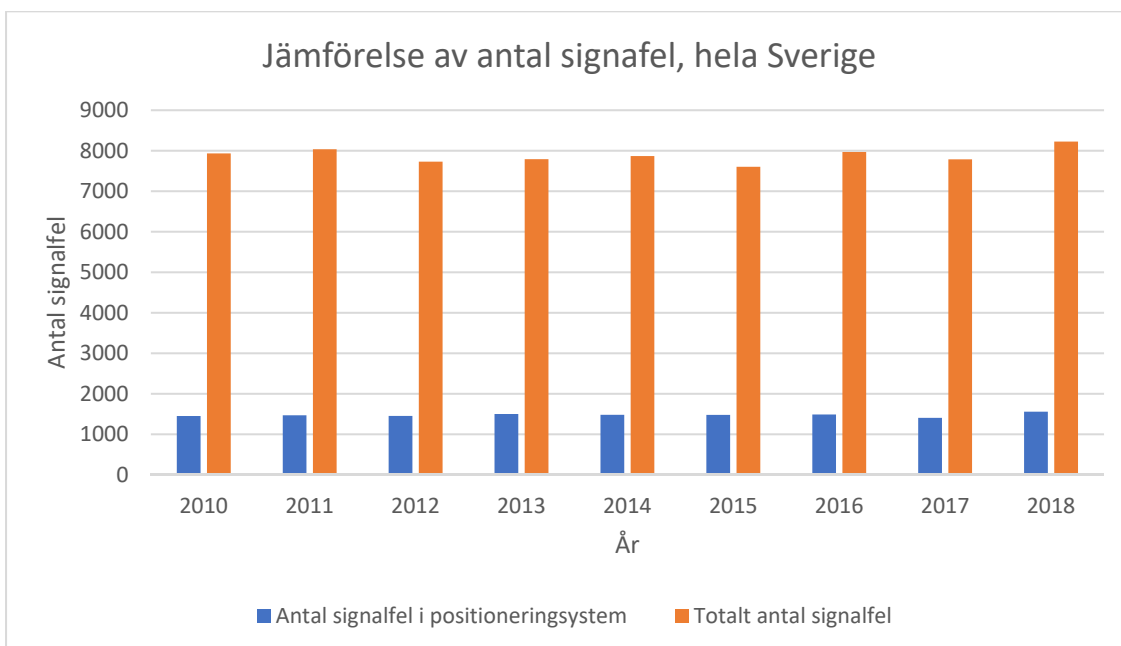


Diagram 8: Antal signalfel orsakade av felaktiga hinderdetekteringssystem jämfört med totalt antal signalfel.

Antal signalfel orsakade av fel i hinderdetekteringssystemen varierar ytters lite trots att det totala antalet signalfel varierar relativt mycket vissa år.

Diagram 9 visar hur stor andel av alla signalfel som har orsakats av felaktiga eller trasiga hinderdetekteringssystem (Trafikverket, 2019). Andelen signalfel orsakade av felaktiga hinderdetekteringssystem varierar ytters lite.

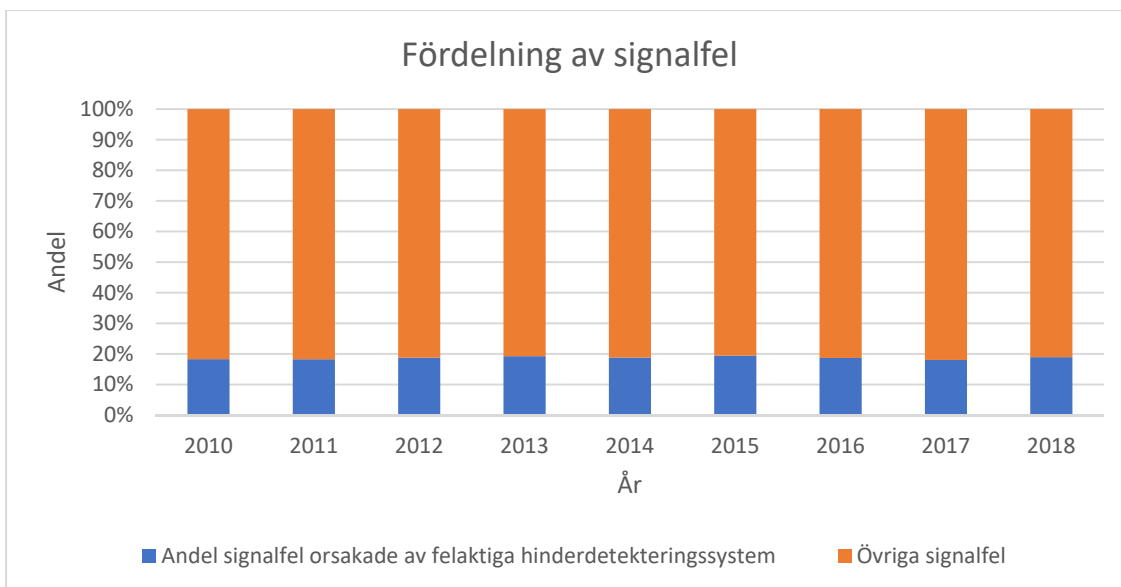


Diagram 9: Andel signalfel orsakade av felaktiga hinderdetekteringssystem jämfört med övriga signalfel.

6.1.2.Förseningsminuter

De signalfel som uppstår kan leda, och leder oftast till stora förseningar beroende på den påverkade trafikmängden. Det finns dock ingen direkt relation mellan antal fel som har uppstått och antal förseningsminuter som felen har lett till, eftersom inte alla signalfel leder till en försening. Av den anledningen måste antalet orsakade förseningsminuter granskas separat. Diagram 10 redovisar förseningsminuter orsakade av alla signalfel samt förseningsminuter orsakade av hinderdetekteringssystemfel, för åren 2010–2018. Endast händelser som resulterar i förseningar på 5 eller fler minuter rapporteras in (Trafikverket, 2019).

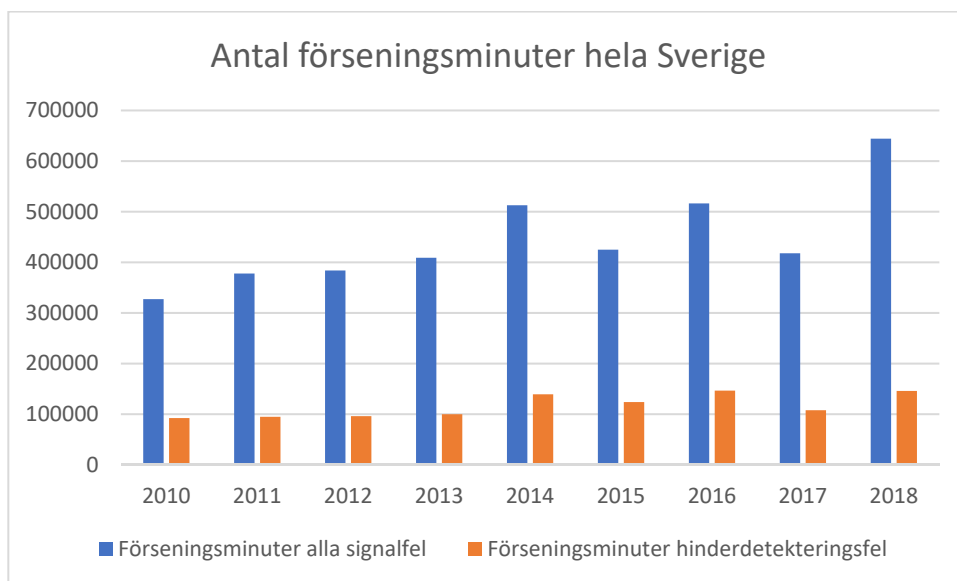


Diagram 10: Jämför förseningsminuter orsakade av alla signalfel samt förseningsminuter orsakade av hinderdetekteringssystemfel

Antal förseningsminuter som har uppstått mellan åren 2010 och 2018 har ökat markant. 2018 skiljer sig återigen från de resterande åren, där antalet förseningsminuter ökade med 25 % jämfört med det näst högsta året (2016). Jämfört med 2017 ökade antalet förseningsminuter med 54 %. Denna stora ökning kan bero på den extrema hettan som drabbade stora delar av Sverige det året. Antalet signalfel orsakade på grund av felaktiga hinderdetekteringssystem följer samma trend, men inte i lika stor utsträckning. Mellan 2017 och 2018 ökade antalet hinderdetekteringssystemfel med 35%.

För att få en uppfattning om hur stor påverkan felaktiga hinderdetekteringssystem har, har andelen förseningsminuter orsakade av felaktiga hinderdetekteringssystem beräknats. Diagram 11 visar andelen förseningsminuter orsakade av felaktiga hinderdetekteringssystem, i relation till resterande orsaker (Trafikverket, 2019).

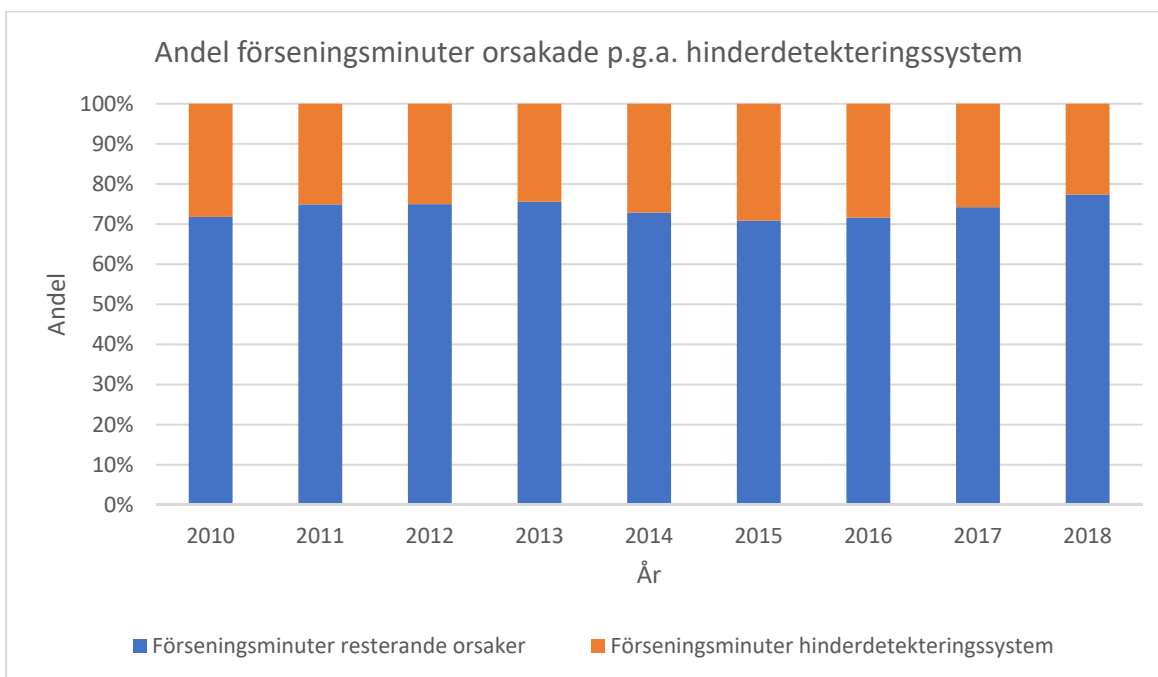


Diagram 11: Andel förseningsminuter orsakade av felaktiga hinderdetekteringssystem

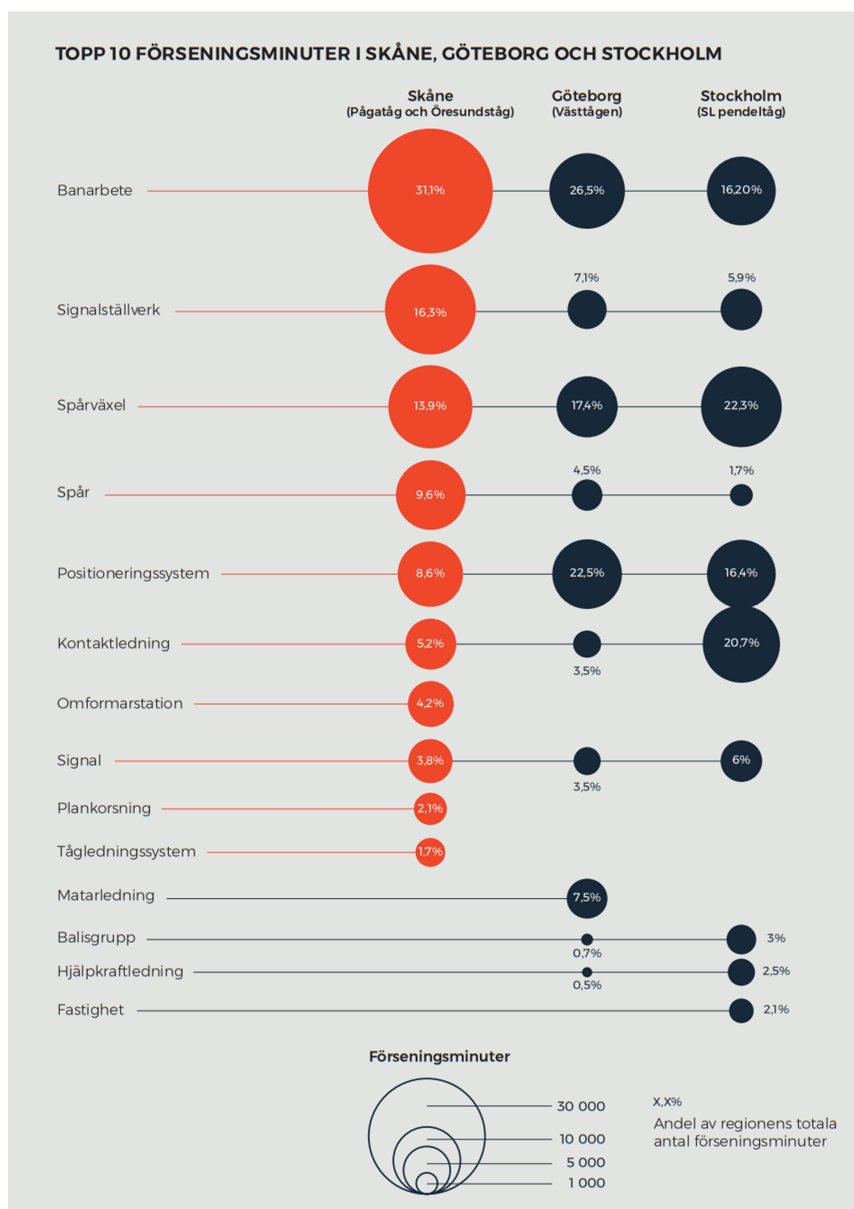
Andelen förseningsminuter orsakade av felaktiga hinderdetekteringssystem har pendlat mellan 23 och 29 % mellan 2010 och 2018.

6.2. Skåne

I WSP:s rapport “Trafikpåverkande fel” (Klingberg, 2019) framtagen på uppdrag av Skånetrafiken, har trafikpåverkande fel som uppstått på de skånska järnvägarna undersökts, och jämförts med Stockholm och Göteborg. Signalfel, antal förseningsminuter och driftstörningar rapporterade i Lupp och Ofelia har använts som underlag till rapporten.

6.2.1. Förseningsminuter

Figur 27 visar hur många förseningsminuter som har uppstått i Skåne, Göteborg och Stockholm, samt vilka anläggningar som har orsakat dessa förseningsminuter. Signalanläggningar står för majoriteten av förseningsminuterna. Observera att endast persontåg står för förseningsminuterna i diagrammet. Godståg eller andra typer av tåg har inte räknats med (Klingberg, 2019).



Figur 27: Redovisar antalet förseningsminuter som uppstått per anläggningsdel (Klingberg, 2019).

I Skåne orsakar hinderdetekteringssystem (benämnt positioneringssystem i figur 27) 8,6 % av alla förseningsminuter (Klingberg, 2019).

Figur 28 illustrerar antal förseningsminuter i Skåne baserat på ort. Flest orsakade förseningsminuter på grund av felaktiga hinderdetekteringssystem har skett i Malmö C (Klingberg, 2019). En möjlig orsak till att Malmö C är mest drabbat av hinderdetekteringssystem kan vara den fuktiga tunnelmiljön som leder till falska beläggningar. En annan anledning kan vara att Malmö C har mycket mer trafik jämfört med andra orter. Det kan även vara en kombination av båda.



Figur 28: Illustrerar antal förseingsminuter baserat på ort och kategori (Klingberg, 2019).

6.3. Storbritannien

6.3.1. Antal hinderdetekteringssystem i drift

I Storbritannien används både axelräknare och spårledningar som hinderdetekteringssystem. Antal axelräknare och spårledningar som var i drift 2014-09-18 redovisas i diagram 12 (Network-Rail, 2019).

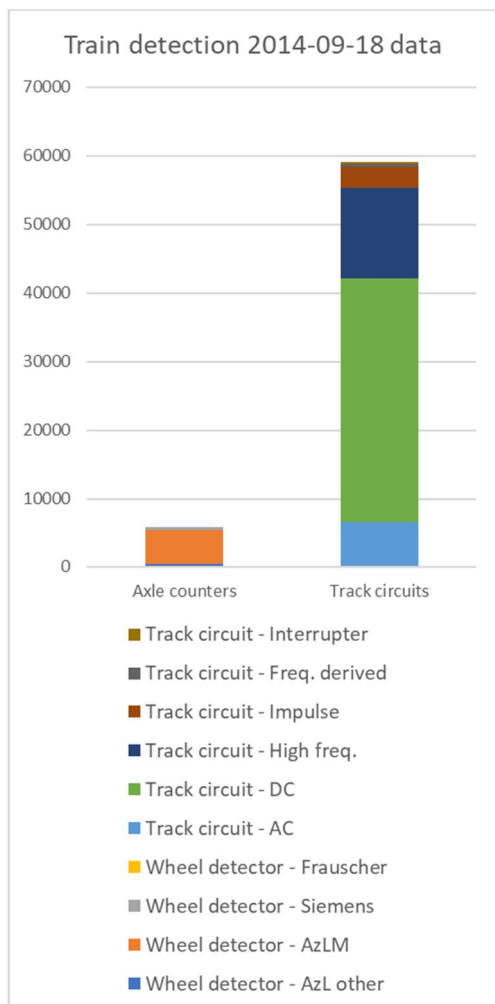


Diagram 12: Antal hinderdetekteringssystem i drift 2014-09-18 (Network-Rail, 2019).

Diagrammet visar vilka typer av spårledningar som användes, och i hur stor utsträckning. Andelen likströmsspårledningar (grön stapel) och axelräknare som var i drift 2014-09-18 var 55 % respektive 9 %.

Diagram 13 visar hur många spårledningningar och axelräknare som är i drift idag, 2019-05-01 (Network-Rail, 2019).

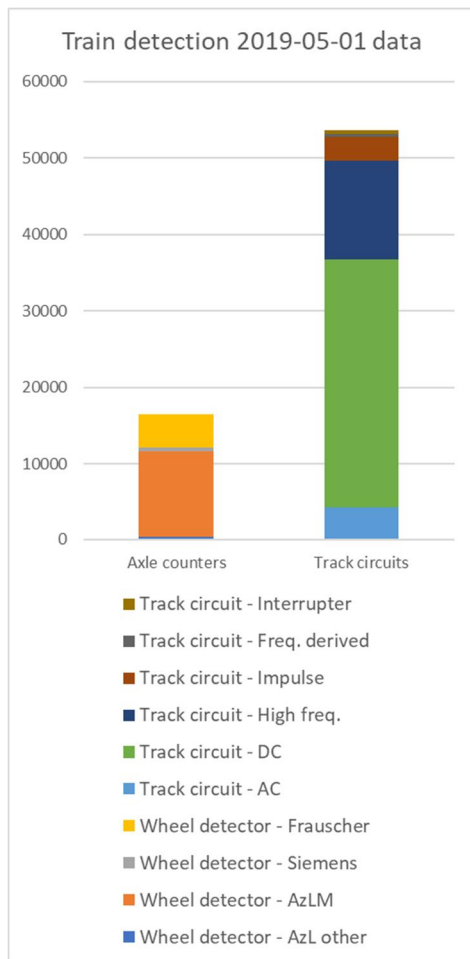


Diagram 13: Antal hinderdetekteringssystem i drift 2019-05-01 (Network-Rail, 2019).

Idag är likströmsspårledningarna det vanligaste hinderdetekteringssystemet i Storbritannien, precis som 2014-09-18. Ungefär 46 % av all hinderdetektering på den brittiska järnvägen utgörs av likströmsspårledningarna. Axelräknare utgör 24 % av all hinderdetektering.

Andelen likströmsspårledningarna i drift i Storbritannien idag är 9 procentenheter lägre jämfört med 2014-09-18. Antal axelräknare har däremot ökat markant. År 2014 användes endast 5702, jämfört med dagens 16 572. Det är en ökning på knappt 200 %. Andelen hinderdetekteringssystem som utgörs av axelräknare i Storbritannien har ökat från 9 % till 24 %.

6.3.2. Signalfel

I Storbritannien rapporteras signalfel in i ett s.k. Fault Management System (FMS) (Network-Rail, 2019). Signalfel från 2010–2018 har studerats.

Diagram 14 redovisar alla registrerade signalfel (oavsett typ) samt signalfel

orsakade på grund av felaktiga hinderdetekteringssystem, mellan 2009/2010 och 2019/2020.

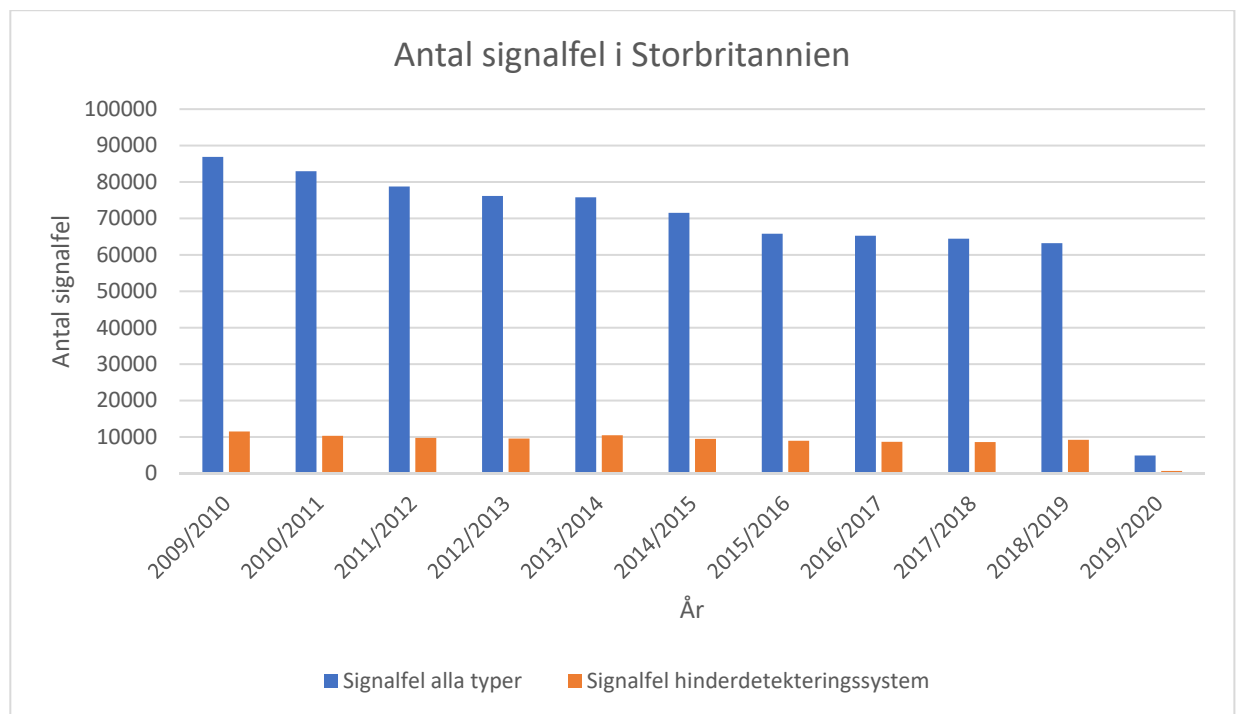


Diagram 14: Antal signalfel i Storbritannien 2009/10–2019/20

Antal signalfel har succesivt minskat från 2009/10 till 2018/19, från nästan 90 000 till ca 65 000. Jämfört med Sverige sker det många gånger fler signalfel i Storbritannien. Anledningen till detta är först och främst att definitionen för signalfel är bredare i Storbritannien jämfört med i Sverige. Utöver detta har Storbritannien många fler spår-km, vilket leder till fler signalfel. Antal signalfel orsakade på grund av felaktiga hinderdetekteringssystem har minskat, men inte i lika stor utsträckning.

För att få en uppfattning om hur stor påverkan felaktiga hinderdetekteringssystem har, har andelen förseningsminuter orsakade av felaktiga hinderdetekteringssystem beräknats. Diagram 15 redovisar den procentuella andelen signalfel som har orsakats på grund av felaktiga hinderdetekteringssystem, i relation till övriga signalfel (Network-Rail, 2019). Observera att diagrammet börjar på 75 % för att lättare kunna se de årliga förändringarna.

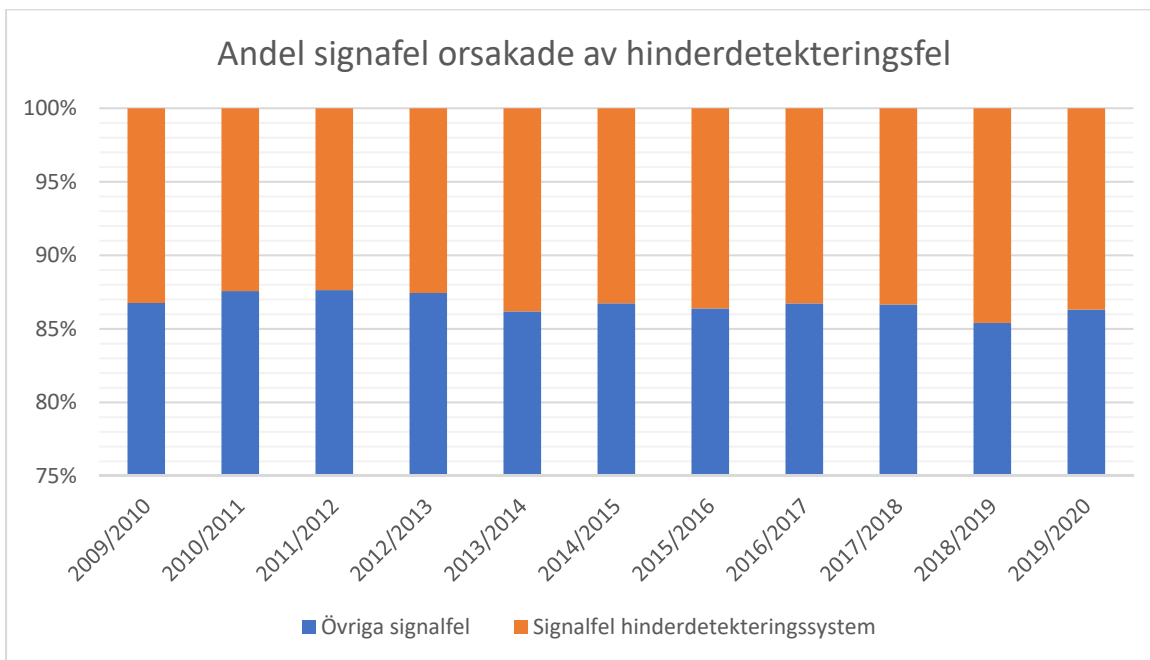


Diagram 15: Andel signafel som har orsakats på grund av felaktiga hinderdetekteringssystem.

Vidare har mer ingående statistik tagits fram för att kunna få en uppfattning om hur många signafel som orsakas av respektive hinderdetekteringssystem. Diagram 16 beskriver hur många signafel som har orsakats på grund av felaktiga axelräknare resp. spårledningar, och diagram 17 beskriver hur andelen signafel fördelas procentuellt mellan axelräknare och spårledningar (Network-Rail, 2019).

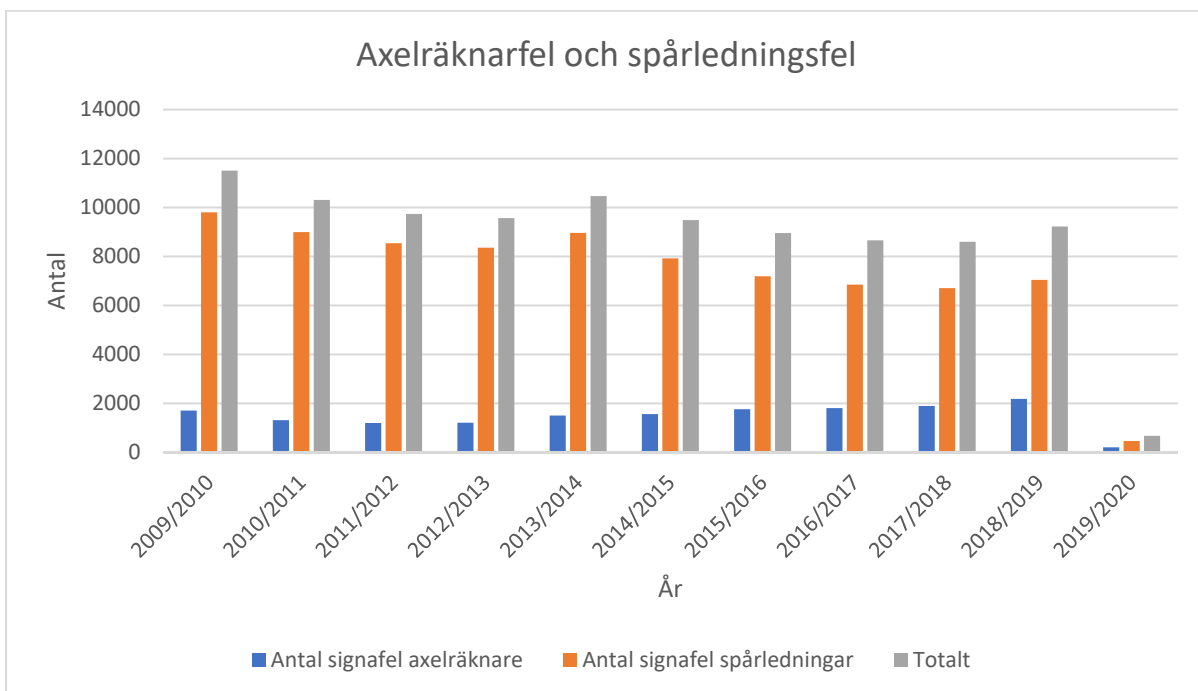


Diagram 16: Antal signafel orsakade av axelräknare resp. spårledningar.

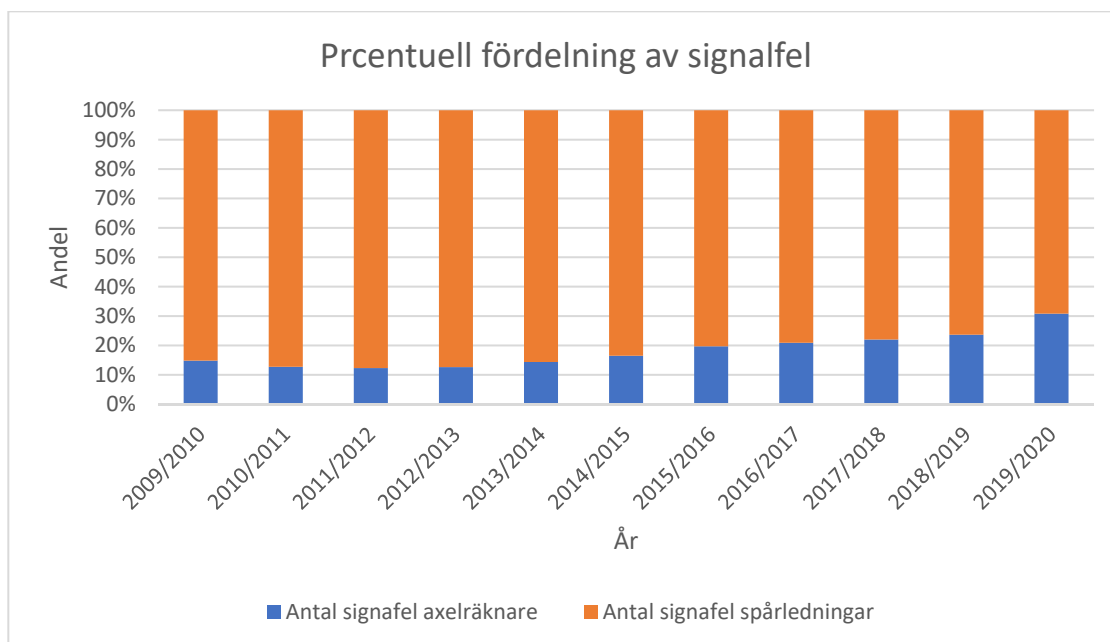


Diagram 17: Andel signalfel orsakade på grund av felaktiga axelräknare resp. spårledningar.

Andelen axelräknarfel ökar, eftersom användningen av axelräknare i Storbritannien har ökat markant. Från 2009/2010 har antalet axelräknare i drift ökat med nästan 200 %, medan antalet signalfel orsakade av axelräknare har ökat med ca 30 %. Diagrammet visar även att antal spårledningsfel har minskat. Detta beror delvis på att antalet spårledningar i drift har minskat. Notera att data från året 2019/2020 är missvisande eftersom det inte finns tillräckligt med data än för att ge en rättvis bild av fördelningen.

Nästa diagram jämför antal signalfel orsakade på grund av felaktiga spårledningar resp. axelräknare i relation till hur många spårledningar resp. axelräknare som är i drift, se diagram 18 (Network-Rail, 2019).

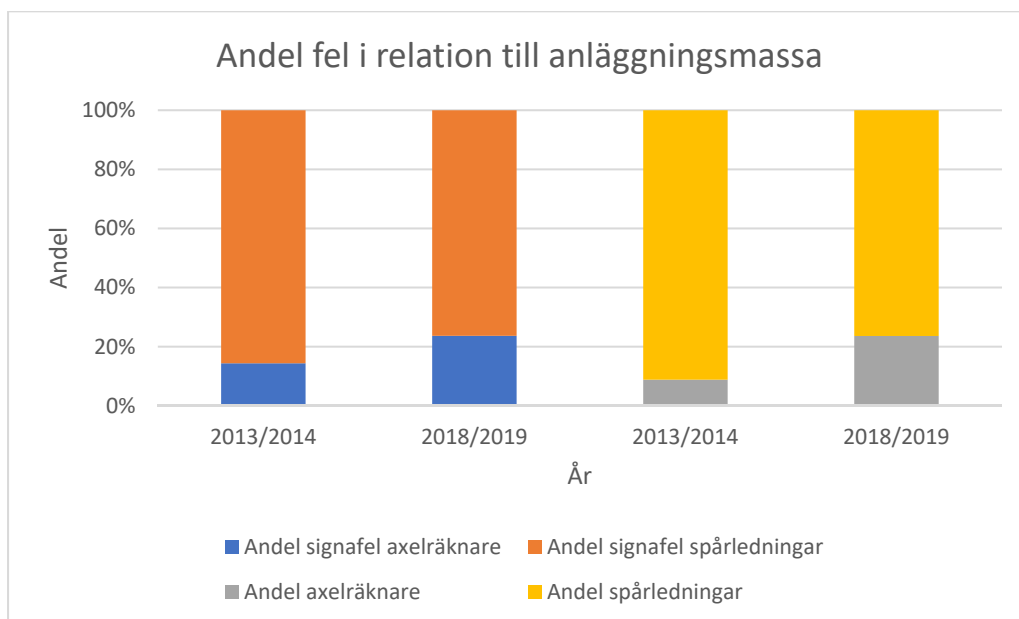


Diagram 18: Andel signalfel orsakade på grund av felaktiga axelräknare resp. spårledningar i relation till antal axelräknare resp. spårledningar i drift.

Diagram 18 visar tydligt att axelräknare år 2013/2014 statistiskt sett var mer benägna att orsaka signalfel jämfört med spårledningar. Idag är axelräknare ungefär lika benägna att orsaka signalfel som spårledningar. 24 % av alla hinderdetekteringssystemfel som uppstår på den brittiska järnvägen idag (2018/2019) orsakas av axelräknare. Samtidigt utgör axelräknare 24 % av all hinderdetektering på den brittiska järnvägen. Det innebär att spårledningar och axelräknare är ungefär lika pålitliga, eftersom axelräknare tillsammans med spårledningar utgör 100 % av all hinderdetektering. Jämförs dock 2018/2019 med 2013/2014, syns det tydligt att andelen axelräknarfel i relation till hur mängden axelräknare, har minskat. 2013/14 orsakade axelräknare 14 % av alla hinderdetekteringssystemfel, men utgjorde endast 9 % av alla hinderdetekteringssystem.

Sammanfattningsvis sker det 132 signalfel per 1000 axelräknare och år, och 131 signalfel per 1000 spårledningar och år idag (2019).

6.3.3.Förseningsminuter

Antal förseningsminuter orsakade på grund av axelräknarfel resp. spårledningsfel redovisas i diagram 19, och den procentuella fördelningen illustreras i diagram 20 (Network-Rail, 2019).

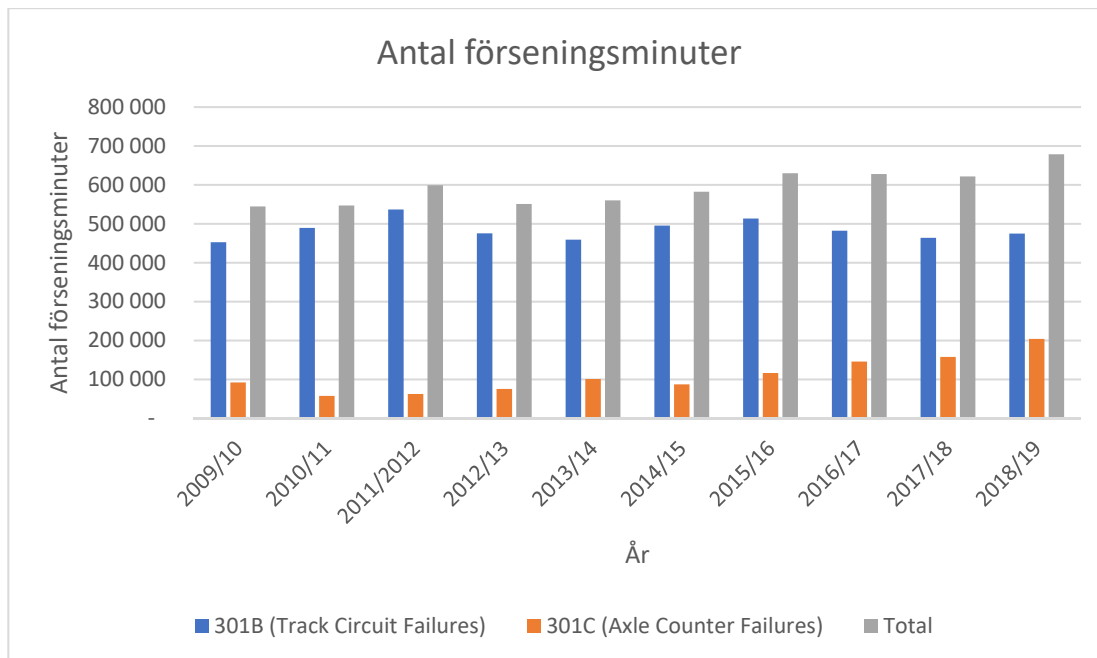


Diagram 19: Antal förseningsminuter orsakade på grund av felaktiga spårledningar resp. axelräknare 2009/10–2018/19.

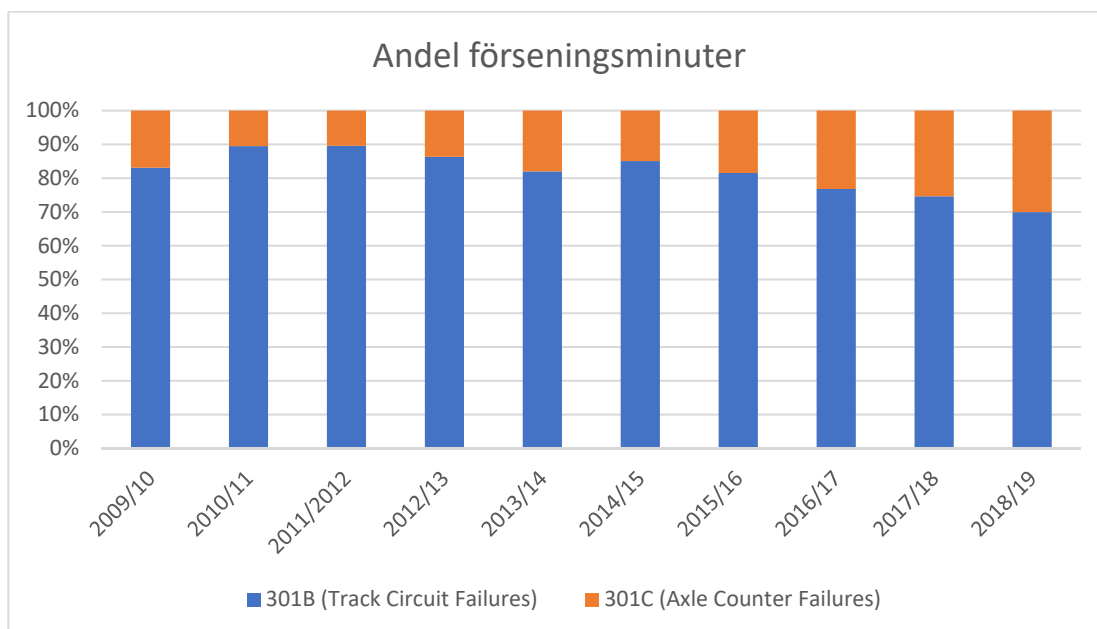


Diagram 20: Andel förseningsminuter orsakade på grund av felaktiga spårledningar resp. axelräknare.

Både diagram 19 och 20 visar tydligt att antalet förseningsminuter orsakade på grund av felaktiga axelräknare har ökat sedan 2009, likaså andelen. Återigen beror detta delvis på att användningen av axelräknare i Storbritannien har ökat markant. Diagram 21 jämför antal förseningsminuter orsakade på grund av felaktiga spårledningar resp. axelräknare i relation till hur många spårledningar resp. axelräknare som är i drift (Network-Rail, 2019).

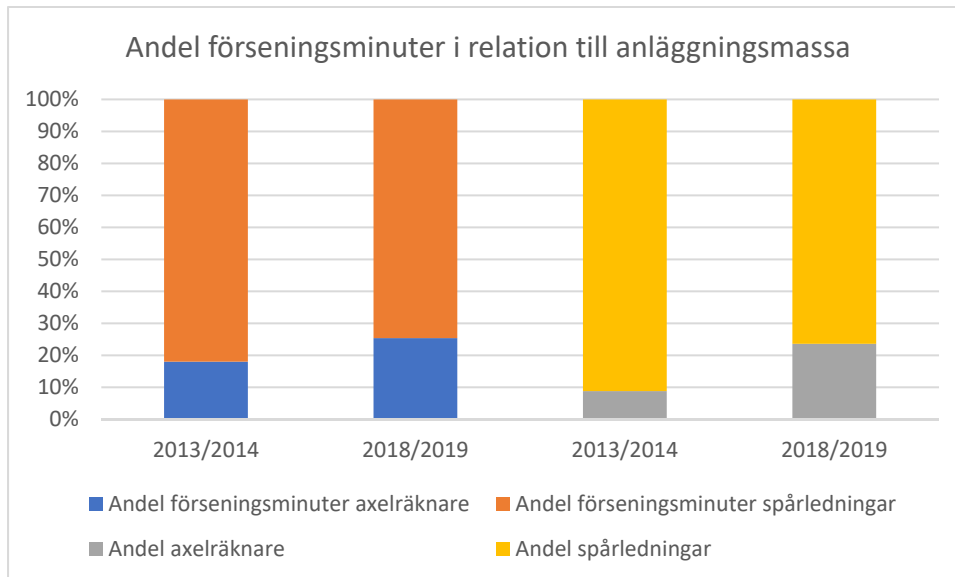


Diagram 21: Andel förseningsminuter orsakade på grund av felaktiga spårledningar resp. axelräknare i relation till hur många axelräknare resp. spårledningar som är i drift.

Likt signalfelsstatistiken så var axelräknare år 2013/14 mer benägna att orsaka en försening jämfört med spårledningar. Idag, 2018/19 är fördelningen ungefär lika stor. Axelräknare står för ca 25 % av alla förseningsminuter orsakade av felaktiga hinderdetekteringssystem, och 24 % av all hinderdetektering.

Sammanfattningsvis orsakas 9,1 förseningsminuter per axelräknare och år, och 8,9 förseningsminuter per spårledning och år.

6.4. Signalfelsstatistik från Öresundsbron

På Öresundsbron används både spårledningar och axelräknare. Ca 12,5 km övervakas med spårledningar och ca 3,7 km övervakas med axelräknare. Tyvärr finns ingen signalfelsstatistik tillgänglig. I Öresundsbrons tunnelparti har det dock varit mycket problem med falska beläggningar, eftersom den fuktiga och varma (under sommaren) tunnelmiljön ofta kortslöt spårledningarna. Idag har stora delar av dessa spårledningar bytts ut mot axelräknare, och därefter har ytterst få fel uppstått. Överlag sker väldigt sällan fel med spårledningarna på den svenska sidan av bron (Lundgren, 2019).

6.5. Sammanfattad signalfels- och förseningsstatistik

Sammanfattningsvis står hinderdetekteringssystemsfel för knappt 20 % av alla signalfel i Sverige, och mellan 23 % och 29 % av alla förseningsminuter orsakade av signalfel. Alla signalfel leder inte till förseningar, men i det här fallet är det tydligt att hinderdetekteringssystemsfel i genomsnitt leder till fler förseningsminuter jämfört med andra signalfel.

I Skåne orsakar hinderdetekteringssystemsfel 12 % av alla förseningsminuter. I det här fallet tas även andra anläggningskategorier med i beräkningen, t.ex. kontaktledning, bana, spårväxel etc. Därför är det svårt att jämföra Skånes förseningsstatistik med övriga Sverige.

Signalfels- och förseningsstatistiken framtagen av brittiska Network-Rail visar att hinderdetekteringssystemsfel står för ca 13 % av alla signalfel. Idag orsakar felaktiga axelräknare och spårledningar 24 % respektive 76 % av alla hinderdetekteringssystemsfel. Tas anläggningsmassa i beaktning, orsakar axelräknare och spårledningar ungefär lika många signalfel. Det sker 132 signalfel per 1000 axelräknare och år (2018/2019), och 131 signalfel per 1000 spårledningar och år idag (2018/2019).

Vidare står felaktiga axelräknare och spårledningar i Storbritannien för 25 % respektive 75 % av alla förseningsminuter orsakade av hinderdetekteringssystemsfel. Tas anläggningsmassa i beaktning, orsakar axelräknare och spårledningar nästan lika många förseningsminuter. Det orsakas 9,1 förseningsminuter per axelräknare och år, och 8,9 förseningsminuter per spårledning och år.

Öresundsbrokonsortiet har ingen signalfelsstatistik tillgänglig. Det går dock att erfarenhetsmässigt dra slutsatsen att axelräknare är mycket mer gynnsamma i vissa fall. Spårledningar i tunnelpartiet på Öresundsbron orsakade många falska beläggningar på grund av bl.a. fuktig miljö, och dessa fel försvann när axelräknare började användas på dessa sträckor. Sedan dess har ytters få axelräknarfel och väldigt få spårledningsfel uppstått.

7. Kostnader för samhället

Rapporten ”Samhällsekonomiska kostnader för störningar i järnvägssystemet” (Lundin, 2007) framtagen på uppdrag av Banverket utreder hur stora samhällsförluster störningar i det svenska järnvägssystemet leder till.

Tabell 3, 4 och 5 visar de samhällsekonomiska kostnaderna för förseningar större än 1, 3 och 5 minuter (Lundin, 2007).

Tabell 3: Samhällsekonomiska förluster på grund av förseningar >1 min.

Värdering förseningar > 1 minut	Värdering BVH 706.00 > 1 min	Motsv. med alt. värde (224 kr/h) > 1 min
Värdering förseningar persontrafik avstigande	813 777 194 kr	1 357 948 798 kr
Värdering förseningar godstrafik	103 358 615 kr	
Värdering förseningar persontrafik inställda tåg	626 996 057 kr	1 046 267 393 kr
Summa:	1 544 131 866 kr	2 404 216 191 kr
Värdering förseningar persontrafik inkl. marginal på 30 %	1 057 910 352 kr	1 765 333 438 kr
Summa inkl. 30 % marginal	1 788 265 024 kr	2 811 600 831 kr

Tabell 4: Samhällsekonomiska förluster på grund av förseningar >3 min.

Värdering förseningar > 3 minuter	Värdering BVH 706.00 >3 min	Motsv. med alt. värde (224 kr/h) >3 min
Värdering förseningar persontrafik avstigande	716 398 356 kr	1 195 452 876 kr
Värdering förseningar godstrafik	101 957 192 kr	
Värdering förseningar persontrafik inställda tåg	626 996 057 kr	1 046 267 393 kr
Summa:	1 445 351 605 kr	2 241 720 269 kr
Värdering förseningar persontrafik inkl. marginal på 30 %	931 317 863 kr	1 554 088 739 kr
Summa inkl. 30 % marginal	1 660 271 112 kr	2 600 356 132 kr

Tabell 5: Samhällsekonomiska förluster på grund av förseningar >5 min.

Värdering förseningar > 5 minuter	Värdering BVH 706.00	Motsv. alt. värde (224 kr/h)
	>5 min	>5 min
Värdering förseningar persontrafik avstigande	632 134 224 kr	1 054 841 444 kr
Värdering förseningar godstrafik	100 515 295 kr	
Värdering förseningar persontrafik inställda tåg	626 996 057 kr	1 046 267 393 kr
Summa:	1 359 645 576 kr	2 101 108 837 kr
Värdering förseningar persontrafik inkl. marginal på 30 %	821 774 491 kr	1 371 293 877 kr
Summa inkl. 30 % marginal	1 549 285 843 kr	2 417 561 270 kr

Kostnaderna har tagits fram genom att beräkna tre olika definitioner för förseningar; >1 minut, >3 minuter och >5 minuter, och gäller samhällsekonomiska förluster i Sverige.

7.1. Samhällsekonomisk beräkning

Beräkningen kommer utgå från tabell 5 eftersom förseningsstatistik från rapporten ”Trafikpåverkande fel” (Klingberg, 2019) kommer att användas (se figur 27, sida 49), där endast förseningar >5 minuter har tagits i beaktning. I detta fall kommer förseningsminuter i Skåne, Göteborg och Stockholm att användas, eftersom förseningsstatistik för hela Sverige inte blivit tillgänglig. Det är naturligtvis inte helt representativt, men kan ändå ge en bild av de samhällsekonomiska kostnaderna. Följande siffror gäller för 2017:

- Skåne: 110 000 förseningsminuter, varav 8,6 % orsakade av felaktiga hinderdetekteringssystem.
- Stockholm: 65 000 förseningsminuter varav 16,4 % orsakade av felaktiga hinderdetekteringssystem
- Göteborg: 50 000 förseningstimmar varav 22,5 % orsakade av felaktiga hinderdetekteringssystem.

Den genomsnittliga andelen förseningsminuter orsakade på grund av felaktiga hinderdetekteringssystem blir:

$$\frac{110\,000 * 0,086 + 65\,000 * 0,164 + 50\,000 * 0,225}{110\,000 + 65\,000 + 50\,000} = 13,94\%$$

Det innebär att hinderdetekteringssystem står för 13,94 % av alla förseningsminuter, och även 13,94 % av alla kostnader. Eftersom siffrorna gäller persontrafik, blir den totala samhällsekonomiska kostnaden:

$$0,1394 * 632\,134\,224\text{ kr} = 88,13\text{ milj. kr}$$

Sammanfattningsvis kostar felaktiga hinderdetekteringssystem samhället 88,13 miljoner år 2017. Det kan antas att den här siffran är ännu högre, eftersom persontågtrafiken har ökat sedan 2006. Används samma procentuella siffra för godstrafik, blir kostnaderna ytterligare:

$$0,1394 * 100\,515\,295 \text{ kr} = 13,71 \text{ milj. kr}$$

Den beräknade samhällsekonomiska kostnaden för försenade godståg är dock för osäker för att kunna användas, eftersom den genomsnittliga andelen förseningsminuter orsakade på grund av felaktiga hinderdetekteringssystem endast gäller för persontåg. Godståg kör vanligtvis på andra banor och undviker vissa driftplatser/stationer helt, och därmed kan siffran variera mycket.

Samhällsekonomiska kostnader till följd av tåg som har ställts in på grund av felaktiga hinderdetekteringssystem bör också beräknas, men har inte gjorts inom ramen för detta arbete.

8. Diskussion och slutsats

För att kunna avgöra vilket system som är det mest samhällsekonomiskt lönsamma, måste alla aspekter beskrivna i rapporten tas i beaktning. För det första kan slutsatsen dras att signalfel orsakade av felaktiga hinderdetekteringsfel har en relativt stor påverkan på tågtrafiken. Nationellt står hinderdetektering för 20 % av alla signalfel och 23–29 % av alla förseningsminuter orsakade av signalfel. I Skåne utgör hinderdetekteringssystemsfel 8,6 % av alla förseningsminuter. Förseningar kostar samhället ofantliga summor i förlorad arbetseffektivitet, försenat gods osv. Den beräknade samhällsekonomiska förlusten för försenade persontåg (förseningar >5 min) är ca 88,13 milj. kr. Det är uppenbart att det finns potential att förbättra detta, men samtidigt finns det även andra områden som har större påverkan och som bör prioriteras, t.ex. organisering av järnvägsunderhåll. Järnvägen kräver mycket underhåll och därför måste underhållet organiseras på ett effektivt och strukturerat sätt. Trafikverkets signalfelsstatistik är dock inte tillräcklig för att avgöra vilket hinderdetekteringssystem som leder till flest signalfel och förseningsminuter. Eftersom axelräknare inte används i Sverige än, går det inte att jämföra dessa med spårledningar.

Används statistiken från Network-Rail som utgångspunkt, kan slutsatsen dras att axelräknare och likströmsspårledningar i dagsläget är lika pålitligt. Statistiken för både signalfel och antal förseningsminuter visar att båda systemen i dagsläget orsakar ungefär lika mycket fel och förseningar. Den axelräknarteknik som används idag är dock relativt ny jämfört med spårledningar. Jämförs dagens signalfels- och förseningsstatistiken med 2013/2014 syns det tydligt att axelräknare har blivit mycket mer pålitliga under en kort tid. Detta visar tydligt att kunskapen och kompetensen kring axelräknare (projektering, underhåll och dylikt) har utvecklats, och kan potentiellt utvecklas ännu mer.

Livscykelkostnaderna framtagna av IRSE visar att spårledningar är det billigaste systemet att använda, följt av axelräknare. Livscykelkostnaderna framtagna av Network-Rail visar att axelräknare är det billigaste systemet. Eftersom beräkningsmetoderna är olika är det svårt att avgöra vilket som är mest korrekt. I kalkylen framtagen av Network-Rail har fler aspekter tagits i beaktning, och det syns på kostnadsskillnaderna mellan Network-Rail och IRSE. Antaganden om bl.a. anläggningskostnader och underhållskostnader är olika. Detta kan helt enkelt bero på att kostnaderna är olika i de båda länderna, vilket gör att vissa system kan vara dyrare eller billigare. Den kalkyl som Network-Rail har tagit fram är dock nyare jämfört med IRSE. Rimligtvis bör

den därför vara mer korrekt. Utöver detta har Storbritannien mycket mer erfarenhet av axelräknare jämfört med Nya Zeeland. Det märks i rapporten framtagen av IRSE eftersom vissa uppgifter och antaganden om axelräknares tillförlitlighet är tagna från Storbritannien. Används Frauschers system FAdC R2, kan underhållskostnaderna minskas till hälften jämfört med vad som har antagits i rapporten framtagen av IRSE, eftersom FAdC R2 endast kräver kontroller vartannat år istället för varje år.

Tas tekniska för- och nackdelar i beaktning så är den största nackdelen med axelräknare att rälsbrott inte kan detekteras. Rälsbrott är en allvarlig händelse som kan leda till ödesdigra konsekvenser om det inte åtgärdas. Dock bör detta inte vara en avgörande faktor. Rälsbrott uppstår oftast på grund av bristande järnvägsunderhåll. Trafikverket strävar efter att järnvägsunderhållet bör vara så pass bra att potentiella rälsbrott behandlas innan de uppstår, dvs. förebyggande underhåll. Förebyggande underhåll identifierar och reparerar trasiga räler innan det hinner uppstå ett rälsbrott. Det sparar både tid och samhällsresurser eftersom avhjälpande underhåll är mycket dyrare att upphandla än förebyggande, samtidigt som det oftast leder till tågförseningar och därmed samhällsekonomiska förluster. Ett sådant underhållssystem har inget behov av rälsbrottsindikering, och därför bör heller inte den aspekten vara avgörande i valet av hinderdetekteringssystem.

Informationen från Öresundsbrokonsortiet visar att spårledningar kan vara mycket problematiska i vissa miljöer. Supraledningar i tunnelpartiet och i vissa andra partier på den danska sidan på Öresundsbron har haft många falska beläggningar på grund av varm och fuktig miljö om somrarna.

ERTMS nivå 3 har potential att ersätta både spårledningar och axelräknare till viss grad. De kapacitetsmässiga och långsiktiga ekonomiska vinsterna är en enorm fördel. Att kunna öka kapaciteten på banor utan att behöva investera i mer infrastruktur (t.ex. fler spår eller fler blocksträckor) kan i längden spara Sveriges skattebetalare stora summor. Systemet är dock långt ifrån färdigutvecklat. Det är viktigt att poängtera att Trafikverket i nuläget planerar att bygga ERTMS nivå 2 i Sverige. Det innebär att valet av hinderdetekteringssystem i slutändan hamnar mellan de övriga systemen som har redovisats.

RFID är ett system som potentiellt kan utvecklas till ett hinderdetekteringssystem. För att det ska fungera måste systemet på något sätt säkerställa att alla vagnar är utrustade med ID-taggar innan det börjar köra. Lämnar ett tåg en rangerbangård med en eller flera vagnar som saknar ID-taggar, kommer det resultera i osynliga vagnar som inte kan detekteras på

vägen. En från början ommarkerad vagn kan resultera i ödesdiga konsekvenser om den tappas på vägen. Det låter osannolikt, men alla scenarion måste tas i beaktning. I dagsläget kan RFID inte användas som hinderdetekteringssystem.

Höghastighetsjärnväg är ett ämne som också bör tas upp. Byggs höghastighetsbanan för 320 kommer spårledningar inte att kunna användas, om kraven inte ändras. I det fallet fungerar axelräknare bra. Axelräknare används redan idag på en rad olika höghastighetsbanor i Europa. Detta beror dock på utvecklingen av ERTMS nivå 3. Eftersom höghastighetsbanan kommer ta väldigt långt tid att planera, projektera och bygga, går det inte att utesluta att ERTMS nivå 3 kommer att vara fullt utvecklat, och därmed användbart för höghastighetssyfte.

Sammanfattningsvis kan slutsatsen dras att axelräknare definitivt är mycket bättre än spårledningar i vissa situationer. Miljöer där det finns stor risk för falska beläggningar bör utrustas med axelräknare. Det hade drastiskt minskat antalet spårledningsfel och därmed minskat antalet signalfel och förseningar. I generella situationer är axelräknare lite bättre än spårledningar ur ett tekniskt perspektiv och ekonomiskt perspektiv. De tekniska fördelarna, t.ex. att axelräknare kan vara oändligt långa, kräver ytterst lite underhåll, klarar av högre hastigheter m.m., överväger nackdelarna. Även ur ett ekonomiskt perspektiv är axelräknare mer fördelaktiga. Investeringskostnaderna är lite högre jämfört med likströmsspårledningar, men underhållskostnaderna är lägre vilket bidrar till en lägre kostnad överlag.

8.1. Förslag till vidare studier

Hinderdetekteringssystem är ett brett område, med stora möjligheter till utveckling och potential för fler arbeten. Som förslag till vidare studier, kan följande arbeten göras:

- En mer detaljerad Livscykelanalys kan utföras för de olika hinderdetekteringssystemen som finns tillgängliga på marknaden
- Tagmaster kan kontaktas för utveckling av ett hinderdetekteringssystem baserat på RFID
- Tillverkarna av de olika axelräknarsystemen kan kontaktas för att göra en mer detaljerad jämförelse
- Trafikverket kan kontaktas för att arbeta fram implementeringsmetoder för axelräknare på den svenska järnvägen
- En utredning kan göras för att avgöra vilket hinderdetekteringssystem och vilken tillverkare som lämpar sig bäst för höghastighetsjärnväg

9. Källförteckning

Skriftliga referenser

Altpro (2019). *Axel counter BO23*. Altpro D.O.O.

https://altpro.hr/upload_data/site_files/bo23-datasheet-en.pdf (hämtad 2019-04-04).

Aditya, p., Karim, R., Kour, R. & Kumar, U. (2013) *Applications of radio frequency identification (RFID) technology with eMaintenance cloud for railway system*. Luelå Tekniska Högskola.

https://www.researchgate.net/publication/271913972_Applications_of_radio_frequency_identification_RFID_technology_with_eMaintenance_cloud_for_railway_system (Hämtad 2019-04-13)

Britannica (2013). *Hysteresis*. Encyclopædia Britannica, inc.

<https://www.britannica.com/science/hysteresis>

Britannica (2018). *Inductance*. Encyclopædia Britannica, inc.

<https://www.britannica.com/science/inductance>

BVS 544.98017. (2009-09-30). *Spårledningars grundläggande signaleringskrav*. Trafikverket.

<https://www.trafikverket.se/contentassets/e0c78767c72944c0b34d78c639fde0bc/bvs544.98017.pdf> (hämtad 2019-03-06).

Clendon, J. & Skilton J. (2010). *Axle Counters – The New Zealand Experience*. The Institution of Railway Signal Engineers Inc.

<https://irsepapers.co.uk/publications/technical-papers-australasia/download/25-technical-papers/1298-2011-mar-clendon-and-skilton-axle-counters-the-nz-experience>

ERTMS (2017). *ERTMS levels-different levels to match customer's needs*.

UNIFE. <http://www.ertms.net/wp-content/uploads/2018/10/3-ERTMS-Levels1.pdf> (Hämtad 2019-03-29).

Frauscher, Josef (2006). *From track switch to inductive wheel sensor using a variety of technologies*. Frauscher Sensor Technology.
https://www.frauscher.com/assets/media/Fachartikel/2006_SD_Vom_Schiene nschalter_zum_Radsensor_EN.pdf (Hämtad 2019-05-01).

Frauscher (2019a). *Frauscher Advanced Counter FAdC®i*. Frauscher Sensor Technology.
https://www.frauscher.com/assets/media/Datenblaetter/EN/Frauscher_FAdCi_Data_Sheet.pdf (hämtad 2019-04-03)

Frauscher (2019b). *Axle Counting System ACS2000*. Frauscher Sensor Technology.
https://www.frauscher.com/assets/media/Datenblaetter/EN/Frauscher_ACS2000_Data_Sheet.pdf (hämtad 2019-04-03)

Klingberg, Martin (2019). *Trafikpåverkande fel*. WSP Sverige AB.
https://skanetrafiken2020.se/wp-content/uploads/2019/03/Trafikpåverkande_fel_webbversion.pdf (hämtad 2019-04-18)

Kozol A. Blake & Thurston F. David. (u.å.). *Axle Counters vs. Track Circuits – Safety in Track Vacancy Detection and Broken Rail Detection*. Siemens Industry, Inc. Parsons Transportation Group.
https://www.arena.org/files/library/2010_Conference_Proceedings/Axle_Counters_vs_Track_Circuits-Safety_in_Track_Vacancy_Detection_and_Broken_Rail_Detection.pdf (hämtad 2019-03-01)

Lundin, Monica (2007). *Samhällsekonomiska kostnader för störningar i järnvägssystemet*. Transportforskningsgruppen i Borlänge AB.
<https://www.trafikverket.se/contentassets/bcdcc708edcd45db802e033a2da9e75b/jarnvag/samhallsekonomiska-kostnader-for-storningar-i-jarnvagssystemet.pdf> (hämtad 2019-05-12)

Sellrup, Jens & Wilson, Daniel. (2015). *Tonfrekvensspårledning- S-förbindningens funktion och dimensionering av alternativa material i förbindningen*. Kungliga Tekniska Högskolan.
<http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:819194/FULLTEXT01.pdf>
(hämtad 2019-04-02).

Siemens (2019). *Clearguard ACM 200 axle counting system- Smart track vacancy detection for cost-effective rail services*. Siemens.
<https://www.mobility.siemens.com/mobility/global/SiteCollectionDocuments/en/rail-solutions/rail-automation/track-vacancy-detection/acm-200-en.pdf>
(hämtad 2019-04-03).

Städje, Jörgen (2014). *Järnvägens signalsystem – principer och logik. Del 2*. idg.se
<https://www.idg.se/2.1085/1.591542/jarnvagens-signalsystem--principer-och-logik-del-1> (hämtad 2019-03-24)

Tagmaster (2019). *Rail Solutions RFID-TagMaster Products*. Tagmaster.
<https://tagmaster.com/rail-solutions/rfid/> (hämtad 2019-04-18)

Trafikverket (2017). *Förslag till nationell plan för transportsystemet 2018–2029*. Trafikverket.
https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/42840/Ineko.Product.RelatedFiles/2018_058_forslag_till_nationell_plan_f_or_transportsystemet_2018_2029.pdf (Hämtad 2019-06-09)

Trafikverket (2018). *Identifiering och positionering av järnvägsfordon (RFID)*. Trafikverket.
<https://www.trafikverket.se/tjanster/system-och-verktyg/trafik/identifiering-och-positionering-av-jarnvagsfordon-rfid/> (hämtad 2019-05-22)

Turner, Keith. (1998). *HVI Track Circuits*. Safety & Standards Directorate, Railtrack PLC.
<https://www.rssb.co.uk/rgs/standards/GKRC0756%20Iss%202.pdf> (hämtad 2019-03-24).

Wiggles, Peter. (2001) *Experience with Safety Integrity Level (SIL) Allocation in Railway Applications*. Institute for Software, Electronics, Railroad Technology (ISEB), TÜV InterTraffic GmbH.
http://www.eic2.ch/pdf/publ_2001_experience_with_safety_integrity_level_location_in_railway_applications.pdf (Hämtad 2019-05-02).

Skriftlig korrespondens

Lundgren Mikael (2019). Öresundsbrokonsortiet. Mejlintervju 2019-04-02.

Network-Rail (2019). Mejlintervju 2019-05-19. Referens inte tillgänglig då informationen har erhållits via en privat "Freedom of Information (FOI)"-begäran.

Sommergruber, Manfred. Manager Technical Sales, Frauscher Sensortechnik GmbH. Mejlintervju 2019-03-07. Referens ej tillgänglig då informationen är tagen från ett konfidentiellt systemdokument.

Trafikverket (2019). Mejlintervju 2019-04-29. Referens inte tillgänglig då informationen är ett utdrag ur OFELIA och Lupp.

Figurförteckning

Figur 1: *Schematic of unoccupied track circuit*. Mangoe (2010).
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Clear_track_circuit.svg (Hämtad 2019-04-01).

Figur 2: *Schematic of occupied track circuit*. Mangoe (2010).
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Occupied_track_circuit.svg (Hämtad 2019-04-01).

Figur 13: Fersil-Railway.
<https://www.fersil-railway.com/en/systems-softwares/train-detection/sil4-axle-counters/> (Hämtad 2019-03-28)

Figur 15: Railsystem.

<http://www.railsystem.net/axle-counter/> (Hämtad 2019-05-20)

Figur 19. Safetrack

<http://www.safetrack.se/sv/Start/Produkter/Sakerhet/KontaktDon> (Hämtad 2019-05-15).

10. Bilagor

10.1. Bilaga 1, signalfel i Storbritannien






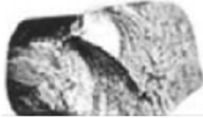





Tabell 6 visar antal signalfel per anläggningsdel och år i Storbritannien.

Tabell 6: Signalfel per anläggningsdel och år (Network-Rail, 2019)

FAILURETYPE	SUFFIX	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020	Totals
F	AIR SYSTEM	20	18	12	15	28	23	13	4	11	20	1	165
F	AXLE COUNTER	1705	1313	1198	1208	1504	1563	1763	1808	1892	2182	207	16343
F	BALISE	48	33	74	48	80	113	79	74	52	73	4	678
F	BLOCK / TOKEN SYSTEMS	1285	1160	1108	1083	1075	884	888	940	934	899	76	10332
F	BUFFER / END STOP	276	231	234	213	206	205	222	202	164	151	13	2117
F	CABLE ROUTE	323	286	239	196	163	127	101	112	105	67	9	1728
F	DATA RECORDER	72	80	69	58	105	173	102	368	1005	1271	59	3362
F	DETECTOR	94	158	138	175	233	147	121	107	112	70	6	1361
F	GROUND FRAME	463	440	333	347	337	340	334	369	324	279	20	3586
F	HOT BOX DETECTOR	1453	1383	834	606	638	573	593	596	549	521	48	7794
F	INTERLOCKING	1591	1797	1560	1465	1341	1196	1272	1178	1318	1268	95	14081
F	LEVEL CROSSING EQUIPMENT	11920	11346	11232	11250	11638	11172	10336	10080	9982	9988	846	109790
F	LINESIDE SIGNALING CABLE	1096	1202	1192	1104	1108	895	757	967	964	941	45	10271
F	LOCATION CASE	515	501	824	935	1082	1099	1029	1171	1256	1520	130	10062
F	PANEL / FRAME	6558	6521	6280	6286	5842	5271	4915	4887	4584	4333	318	55795
F	PLATFORM INDICATOR	38	40	32	42	63	53	31	1	0	0	0	300
F	POINTS (OPERATING EQUIPMENT)	12111	11966	10447	10914	10865	10370	9110	8726	9260	8399	694	102862
F	POWER SUPPLY	1454	1398	506	0	0	0	0	0	0	0	0	3358
F	PSR MAGNET	9	6	6	7	11	10	16	10	14	5	0	94
F	REMOTE CONTROL SYSTEM	1279	1292	1129	1062	1061	983	796	691	746	672	52	9763
F	SIGN - PERMANENT	386	476	447	479	501	488	482	484	424	403	59	4629
F	SIGNAL	22328	20944	20820	19394	17797	17146	15700	16209	15169	14223	1052	180782
F	SIGNAL BOX / RELAY ROOM	1442	1335	1464	1622	1678	1652	1547	1496	1460	1409	98	15403
F	SOLID STATE INTERLOCKING	2330	2206	2375	2175	2271	2011	1832	1904	1664	1835	146	20946
F	STAFF PROTECTION SYSTEM	32	32	28	21	30	26	29	28	22	22	0	269
F	TOWS	113	121	98	131	145	136	98	90	81	96	8	1117
F	TRACK CIRCUIT	9801	8596	8529	8359	8863	7923	7191	6850	6707	7043	465	80837
F	TRAIN DESCRIBER	1804	1579	1605	1556	1380	1321	1178	969	970	887	88	13337
F	TRAIN OPERATED POINT INDICATOR	121	78	47	26	10	24	9	12	12	8	1	348
F	TRAIN READY TO START (TRTS) SYS	611	596	531	452	500	511	409	425	411	429	36	4911
F	TRAIN WARNING SYSTEM	5366	5188	5320	4904	5104	5086	4832	4485	4239	4177	329	49030
F	TRIP COCK TESTER	37	27	24	26	19	10	14	8	5	4	2	176
	Totals:	86881	82949	78745	76159	75778	71531	65799	65251	64436	63194	4907	735630

10.2. Bilaga 2, rälsbrottstyper

Figur 29 visar de rälsbrottstyper som inte kan upptäckas av likströmsspårledningarna.

Type of Rail Break	Cause	Location	Example
Transverse Cracks in Rail Head	Develops from an original internal defect inside the rail head, an internal horizontal crack, or very occasionally deep shelling of the gauge corner	At the Joint	
		Beyond the Joint	
Transverse cracks in rail head	Develops from an internal defect in the head of the weld	Flash butt Welding Zone	
	Develops along a plane near a normal cross-section of the profile	Thermit Welding Zone	
	Cracks at the periphery of the welding	Electric arc welding position	
Transverse cracks in rail head	Transverse fatigue crack across the resurfaced part of a rail head	Welding or resurfacing position	
	Transverse cracking under	At right angles with an electrical connection for return current	
Horizontal Rail head delaminations	Manufacturing defect	Above the rail web, at rail end	
		Above the rail web, away from rail end	
Vertical rail head end delaminations	Manufacturing defect	In rail head, ±5mm of vertical rail axis, at rail end	
		In rail head, ±5mm of vertical rail axis, away from rail end	
Vertical Rail Web end delaminations	Manufacturing defect	In rail web, ±5mm of vertical rail axis, at rail end	
		In rail web, ±5mm of vertical rail axis, away from rail end	
Horizontal cracking at head-to-web transitions	Manufacturing defect	Head/web interface at rail end	
		Head/web interface away from rail end	
Horizontal cracking at web-to-foot transitions	Manufacturing defect	Web/foot interface at rail end	
		Web/foot interface from rail end	

Figur 29: Rälsbrottstyper som inte detekteras av spårledningarna (Kozol & Thurston, u.å)

10.3. Bilaga 3, livscykelkostnader

Nedbrytning av livscykelkostnader för hinderdetekteringssystem i Storbritannien redovisas i tabell 7.

Tabell 7: Nedbrytning av livscykelkostnader för de olika hinderdetekteringssystemen (Network-Rail, 2019)

Case Study Options	Benefit	Operations	Capex	Planned Maintenance		Reactive Maintenance		Service Risk	Safety Risk	TOTAL
				Maintenance	Maintenance	Maintenance	Maintenance			
Track Circuit - DC (jointed rail)	£0	£0	£53 467	£22 990	£3 919	£7 377	£101	£87 853		
Track Circuit - DC (CWR)	£0	£0	£44 689	£19 375	£3 908	£7 179	£97	£75 249		
Track Circuit - AC (jointed rail)	£0	£0	£64 420	£27 620	£4 223	£16 854	£120	£113 237		
Track Circuit - AC (CWR)	£0	£0	£44 689	£19 495	£4 143	£14 194	£105	£82 626		
Track Circuit - Frequency (jointed rail)	£0	£0	£64 420	£27 620	£4 341	£26 011	£147	£122 539		
Track Circuit - Frequency (CWR)	£0	£0	£44 689	£19 495	£4 303	£24 683	£140	£93 311		
Track Circuit - Impulse (jointed rail)	£0	£0	£64 420	£27 620	£4 071	£10 412	£98	£106 621		
Track Circuit - Impulse (CWR)	£0	£0	£44 689	£19 495	£4 051	£10 038	£95	£78 367		
Axle Counter	£0	£0	£26 589	£6 791	£1 412	£11 889	£84	£46 766		
Axle Counter - conversion from Track	£0	£0	£119 437	£6 686	£1 412	£11 889	£84	£139 508		
Axle Counter - Modular Signalling	£0	£0	£25 152	£6 476	£1 412	£11 889	£84	£46 013		
Axle Counter - conversion from Track	£0	£0	£118 000	£6 370	£1 412	£11 889	£84	£137 755		
Train Detection Total	£0	£0	£714 662	£210 031	£38 607	£164 304	£1 240	£1 128 844		