

Driftsäkerhetsanalys för utformning av cirkulär underhållsstöd för spårväxlar

En fallstudie hos Trafikverket

Azret Sheriev

Civilingenjör, Industriell ekonomi
2024

Luleå tekniska universitet
Institutionen för ekonomi, teknik, konst och samhälle

[Denna sida har avsiktligt lämnats tom]

FÖRORD

Detta examensarbete har genomförts vid Luleå tekniska universitetet under våren 2024. Under arbetets gång har jag fått hjälp och stöd från många håll. Jag vill särskilt tacka mina handledare, Peter Söderholm från Trafikverket och Athanasios Migdalas från Luleå tekniska universitetet för deras vägledning, värdefulla insikter och tålamod. Jag vill också rikta ett stort tack till Trafikverket och deras personal, särskilt de som deltagit i intervjuerna för deras generösa delning av tid, kunskap och erfarenheter. Slutligen vill jag uttrycka mina tacksamheter till mina vänner och opponenter för deras oändliga stöd och uppmuntran under hela studietiden.

SAMMANFATTNING

Järnvägen är en förutsättning för att hantera klimatkrisen och sträva mot ökad hållbarhet då utsläppen från järnvägstransporter är låg i relation till andra transportslag. Trafikverket ska bidra till det genom att arbeta för att järnvägen har en säkerhetsnivå som är ekonomiskt hållbar för samhället. Det innebär att resenärer och godstransportörer ska välja järnväg framför andra transportslag genom att det skapas rätt balans mellan säkerhet, punktlighet och kostnad. För att uppnå det arbetar aktörer inom järnvägen integrerat med driftsäkerhet och säkerhet. För att i ökad omfattning även beakta hållbarhet ur ett miljöperspektiv är cirkularitet en väg framåt. Spårväxlar är en kritisk del i järnvägsinfrastrukturen då de har en viktig funktion samtidigt som de är säkerhetskritiska, dyra att installera och underhålla samt ligger i topp när det gäller trafikstörningar. För att hushålla med statens resurser tillämpar Trafikverket byte av komponenter i spårväxlar för att förlänga tiden mellan byte av hela spårväxlar. För att hushålla bättre med resurserna och samtidigt öka hållbarheten är det intressant att återanvända utbytta spårväxelkomponenter istället för att endast återvinna deras material. Nuvarande arbetssätt saknar dock systematisk återanvändning av annat än bristkomponenter, vilket kräver utveckling.

Syftet med detta examensarbete är att utforska en cirkulär modell för hantering av återanvända komponenter inom järnvägsunderhåll. Genom driftsäkerhetsanalyser identifieras kritiska spårväxelkomponenter för att utforma ett effektivt och ändamålsenligt underhåll för ökad cirkularitet. Arbetet fokuserar på att identifiera kritiska komponenter och geografiska platser i anläggningen samt undersöka arbetssätt för återanvändning av spårväxlar och dess komponenter för ökad cirkularitet. Frågeställningen är ”Hur kan en cirkulär modell utformas och tillämpas för att effektivt återanvända spårväxlar och dess komponenter inom järnvägsunderhåll?”

Arbetet är en kombinerad litteratur- och fallstudie med en abduktiv ansats. Fallstudien omfattar Trafikverket samt spårväxlar på Malmbanan och Haparandabanan. Kvalitativa data har samlats in via intervjuer och dokumentstudier. Kvantitativa data har samlats in via databasstudier. Kvalitativa data har analyserats utifrån material från litteraturstudien samt tematisk analys, medan driftsäkerhetsanalys i Excel och Minitab har tillämpats för kvantitativa data. Resultatet visar att utifrån antal fel och trafikstörningar är växeltungor och korsningar de mest kritiska spårväxelkomponenterna. Det finns dock även andra kritiska komponenter beroende på bandel, besiktningsklass och årstid. Sverige har tidigare haft växelrevisionsverkstäder där komponenter återanvändes, vilket fortfarande praktiseras i Storbritannien. Järnvägsanläggningen inspekteras före ombyggnadsprojekt och spårväxlar transporteras till centrallager för vidare inspektion av komponenter. Spårväxelkomponenter är eftertraktade och återanvänds vid komponentbyten i anläggningen, men även hela renoverade spårväxlar. En gemensam framgångsfaktor för ökad cirkularitet anges vara ansvarstagande, effektiv lagerhantering, god kommunikation mellan aktörerna i processen samt hög kompetens.

Nyckelord; Circular economy, Rail, Logistics, maintenance, Switches & Crossings, Dependability Reuse

ABSTRACT

The railway system is essential for addressing the climate crisis and promoting sustainability, as railway emissions are relatively low compared to other modes of transport. Trafikverket, the Swedish Transport Administration, aims to ensure that the railway maintains a safety level that is economically sustainable for society, encouraging passengers and freight carriers to choose rail by balancing safety, punctuality, and cost. Stakeholders in the railway sector work integratively with operational reliability and safety, and circularity is a viable path forward for environmental sustainability.

Railway switches are a critical part of the infrastructure due to their important function, safety-critical nature, high costs, and their leading role in causing traffic disruptions. Trafikverket replaces components in railway switches to extend the intervals between complete replacements. To further improve resource efficiency and sustainability, reusing replaced switch components is beneficial. However, the current practice lacks systematic reuse beyond shortage components.

This thesis explores a circular model for handling reused components within railway maintenance. Through dependability analyses, critical switch components are identified to design an effective maintenance strategy that enhances circularity. The work focuses on identifying critical components and geographic locations within the infrastructure and examining methods for reusing switches and their components. The research question is: "How can a circular model be designed and applied to effectively reuse switches and their components within railway maintenance?"

This study employs a combined literature review and case study with an abductive approach. The case study encompasses Trafikverket and the railway switches on Malmbanan and Haparandabanan. Qualitative data was collected through interviews and document studies, while quantitative data was gathered through database studies. The qualitative data was analyzed using materials from the literature review and thematic analysis, while quantitative data was analyzed using dependability analysis in Excel and Minitab.

The results indicate that, based on the number of faults and traffic disruptions, switch rails and crossings are the most critical components. Other critical components were identified depending on the specific track section, inspection class, and season. Sweden previously had switch revision workshops where components were reused, a practice still employed in the UK. Key success factors for increasing circularity include accountability, efficient inventory management, good communication between stakeholders, and high competence.

Keywords: Circular economy, Rail, Logistics, Maintenance, Switches & Crossings, Dependability, Reuse

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	INLEDNING.....	2
1.1	Bakgrund.....	2
1.1.1	Driftsäkerhet och järnvägsinfrastruktur.....	2
1.1.2	Cirkulär ekonomi och järnvägsanläggningen.....	3
1.2	Problembeskrivning.....	3
1.3	Syfte och mål.....	4
1.4	Frågeställning.....	4
1.5	Avgränsningar.....	5
2.	TEORETISK REFERENSRAM.....	6
2.1	Järnvägssystem.....	6
2.2	Spårväxlar.....	6
2.3	Underhåll.....	7
2.3.1	Förebyggande underhåll.....	7
2.3.2	Avhjälpande underhåll.....	7
2.3.3	Komponentbyte som underhållsåtgärd för spårväxlar.....	8
2.4	Cirkulär logistik.....	8
2.4.1	Principer för cirkulära materialflöden.....	9
2.4.2	Cirkularitet inom järnvägsanläggningen.....	12
3.	METOD OCH GENOMFÖRANDE.....	14
3.1	Forskningsstrategi.....	14
3.2	Forskningsansats.....	14
3.3	Datainsamling.....	14
3.4	Litteratur- och dokumentstudier.....	15
3.5	Intervjuer.....	15
3.6	Databasstudie.....	16
3.7	Validitet och reliabilitet.....	17
4.	FALLSTUDIE BESKRIVNING.....	20
4.1	Malmbanan.....	20
4.2	Haparandabanan.....	21
4.3	Underhåll av svenska järnvägar; basunderhåll, besiktningsskyltar och anmärkningar.....	21
4.3.1	Besiktningar för avhjälpande -och förebyggande underhåll.....	21
4.3.2	Besiktningsskyltar.....	22
5.	RESULTAT.....	24

5.1	Kvantitativ data	24
5.1.1	Databas: BIS	24
5.1.2	Databas: Ofelia	24
5.1.3	Databas: Bessy	34
5.2	Resultat från intervjuer och dokumentstudie	39
5.2.1	Driftstörningar	39
5.2.2	Prioriteringsgrunder	39
5.2.3	Kriterier för underhållsåtgärd (specifikt komponentbyte)	40
5.2.4	Cirkularitet i Sverige	41
5.2.5	Cirkularitet i Storbritannien	47
5.2.6	Underhållsprocesser; Förbättringsmöjligheter för underhåll	49
6.	DISKUSSION	50
6.1.1	Kritiska komponenter och bandelar	50
6.1.2	Återanvändning i Storbritannien och Sverige	51
7.	SLUTSATSER, VIDARE FORSKNING OCH REKOMENDATIONER	56
7.1.	Återkoppling till syftet	56
7.1.1	Uppfyllelse av delmål 1	56
7.1.2	Uppfyllelse av delmål 2	56
7.2	Förslag på vidare forskning	57
7.3	Rekommendationer	57
8.	BEGRÄNSNINGAR	60
8.1.	Validitet och reliabilitet	60
	REFERENSER	62
	BILAGOR	68
	Bilaga 1	68
	Bilaga 2	69
	Bilaga 3	70

Lista på figurer

Figur 1. Spårväxel med beteckningar av olika typer av räil. Källa: Nissen (2005).....	6
Figur 2. Värdekulle utan cirkuläritet. Källa: Achterberg et al. (2016)	9
Figur 3.Värdekulle med cirkuläritet.Källa: Achterberg et al. (2016)	10
Figur 4. Idéskiss över cirkulära materialflöden.Källa:Kossila (2021).....	11
Figur 5.Samband mellan anmärkningar och försämring av tekniskt tillstånd.Källa: Berg et al. (2020)23	
Figur 6.Bestämning av miniminivå för besiktningsklass ur sth för tågkategori A och besiktningsklass.Källa: Trafikverket (2019)	23
Figur 7. Besiktningsklassernas tillämpning.Källa: Trafikverket (2019)	23
Figur 8. Antal växlar av respektive besiktningsklass för olika bandelar	24
Figur 9. Antal feluppkomster för de olika banorna 2015-2023	25
Figur 10. Orsaker till fel ledande till byte och utbyte av enhet(åtgärd) 2015-2023	25
Figur 11. Pivotdiagram av antal merförseningar relaterade till felförekomster 2015-2023	26
Figur 12. Paretodiagram av felrapporteringar för olika anläggningsdelar på Malmbanan.....	26
Figur 13. Paretodiagram av felrapporteringar för olika anläggningsdelar på Haparandabanan.....	27
Figur 14. Pivotdiagram som visar anläggningsdelar och vilka typer av fel de drabbas av.	28
Figur 15. Stapeldiagram av antal merförseningar (min) av ospecificerade anläggningsdelar inom Spårväxel.....	28
Figur 16.Ospecificerade komponenter.	29
Figur 17. Anläggningsdelar med fel som orsakar tågstörningar	30
Figur 18. Sambandsdiagram med bubbelstorlek som representerar merförseningar	30
Figur 19. Sambandsdiagram som visar antal tågstörande fel som bubbelstorlek mellan år 2015-2023.31	
Figur 20. Sambandsdiagram som visar konsekvens per inrapporterade fel för respektive anläggningsdel	32
Figur 21. Stapeldiagram av antal merförseningar (min) av ospecificerade komponenter för respektive anläggningsdel.....	32
Figur 22. Sambandsdiagram för tågstörande komponenter över alla perioder.....	33
Figur 23. Sambandsdiagram på komponentnivå som visar konsekvens per enhet(påverkade tåg per fel samt merförseningar per fel.....	34
Figur 24. Paretodiagram som visar anläggningsdelar med flest antal besiktningsanmärkningar från år 2010–2020.	34
Figur 25 Anläggningsdelar med besiktningsanmärkningar och orsaker till dessa anmärkningarna.	35
Figur 26. Typer av anmärkningar som förekommer i de olika besiktningsklasser mellan 2010-2020	36
Figur 27. Samtliga prioriteringar typer(anmärkningar) för respektive enhet i B1	36
Figur 28. Samtliga prioriteringar typer(anmärkningar) för respektive enhet i B2	37
Figur 29. Samtliga prioriteringar typer(anmärkningar) för respektive enhet i B3	37
Figur 30. Samtliga prioriteringar typer(anmärkningar) för respektive enhet i B4	38
Figur 31. Samtliga prioriteringar typer(anmärkningar) för respektive enhet i B5	38
Figur 32.Kretslopp för spårväxlar. Källa: Vossloh(u.å.)	46
Figur 33. Processbeskrivning för återanvändning och återvinning av spårväxlar .Källa: Vossloh (u.å.)	46

1. INLEDNING

Detta kapitel inleds med en bakgrund som beskriver området som denna fallstudie kommer att behandla. Efter detta presenteras studiens problemformulering, följt av dess problembeskrivning, syfte och mål, frågeställning samt avgränsningar.

1.1 Bakgrund

Järnvägssystemet utgör en central del av transportinfrastrukturen och är väsentligt för passagerare och godstransporter i Sverige. Ett tillförlitligt och effektivt järnvägssystem är inte bara samhällskritiskt för att säkerställa transporter, utan har också en inverkan på ekonomin, genom att stödja en resurseffektiv och säker transport av människor och gods (Trafikverket, 2023a; Trafikverket, 2017; Trafikverket, u.å.a). Järnvägsinfrastrukturen betraktas som ett komplext system som omfattar olika delsystem såsom, överbyggnaden (spår, växlar, ballast), underbyggnaden (broar, tunnar), signalsystem, telekommunikationssystem, elkraftförsörjningsanläggningar (Bårström & Granström, 2012; Kobbacy & Murthy, 2008).

1.1.1 Driftsäkerhet och järnvägsinfrastruktur

Degradering eller försämring av järnvägsanläggningen kan uppstå som en konsekvens av olika faktorer och variabler. De kan antingen vara kopplade till trafikrelaterade till trafikrelaterade aspekter såsom trafikmängd, belastning och hastighet eller externa faktorer, som exempelvis väder och klimat (Patra, 2007). Bedömningen av nedbrytningens hastighet sker vanligtvis genom en kombination av hastighet och ackumulerat tonnage, samtidigt som andra faktorer också beaktas. Det medför att anläggningar med mycket trafik och tung trafik kräver frekvent underhåll. Kvaliteten på materialet hos spårkomponenterna är av stor betydelse för att motverka skador och säkerställa effektivitet och säkerhet under spårets livslängd. I takt med att miljöfrågor blir alltmer akuta krävs utvärdering av lösningar som kan erbjuda en utmärkning miljömässig hållbarhetsprestanda (Giunta, 2023). Järnvägar har omfattande kapitalinvesteringar och långa livslängder (Bårström & Granström, 2012) med detta finns det ett nödvändighets behov av en strategi för drift och underhåll som är långsiktig och hållbar (Stenström & Parida, 2013). Antalet persontåg och godståg som rullar på spåren har fördubblats under bara några decennier, med över 1 miljon persontåg och 150 000 godståg som passerar varje kalenderår. En betydande del som påverkas av denna ökade trafik är spårväxlar. (Trafikverket, 2023b). Att underhålla dessa system är av stor betydelse och kritiska för att uppnå målen med underhåll, vilket avser att säkerställa säkerhet, tillförlitlighet, punktlighet och övergripande kapacitetsutnyttjande samt låga kostnader (Patra, 2007; Kobbacy, & Murthy, 2008).

Mot denna bakgrund, för att effektivt uppnå dessa underhållsmål krävs en noggrann mätning av; data på järnvägsspåret som inkluderar degradering av spår, annat fel, samt de underhållsåtgärder som utförs. Därmed, driftsäkerhetsanalyser kan tillämpas för att effektivt planera och uppnå dessa mål (Patra, 2007). Driftsäkerhet kan definieras som produktens eller systemets förmåga att bibehålla hög prestanda även vid förekomsten av fel, störningar och andra inverkaner på prestationsförmågan. De faktorer som bestämmer driftsäkerhets egenskaper är; *funktionssäkerheten*, vilket återspeglar produkten eller systemets förmåga att utföra sina

funktioner under specificerade förhållande, *underhållsmässighet*, som avser hur enkelt fel kan upptäckas, lokaliseras och åtgärdas, samt *underhållssäkerheten*, som avser underhållsorganisationers kapacitet att tillhandahålla de nödvändiga resurserna för att utföra underhållsarbetet (Bergman & Klefsjö, 2020; Johansson, 1997).

1.1.2 Cirkulär ekonomi och järnvägsanläggningen

Cirkulär ekonomi handlar om att effektivt använda resurser för att minimera förlusten av deras värde. Ett primärt mål är att bibehålla resursernas kvalitet så långt som möjligt genom återanvändning och återvinning. Genom att etablera cirkulära värdekedjor kan behovet av nya råvaror minska, eftersom produkter och material kan användas under längre tid, samtidigt som de ur ekonomisk synvinkel blir lönsamma. Dessutom kan tillämpningen medföra flera fördelar såsom kostnadsbesparingar, stabilitet i materialpriser, förbättrad försörjningstrygghet, skapande av sysselsättning samt minskade miljö- och klimatpåverkningar (Kaewunruen et al., 2023; Kossila, 2021). För att förverkliga detta kan förändringar i hantering av materialflöden och resurshantering krävas (Kossila, 2021). Material som används i järnvägsbyggnation integreras vanligtvis i anläggningar som förblir i bruk under flera årtionden. Dessa material blir tillgängliga för återanvändning eller återvinning först när de når slutet av sin livscykel. Emellertid används en betydande mängd material för att underhålla befintlig järnvägsinfrastruktur (Carlsson et al., 2023).

1.2 Problembeskrivning

Trafikverket är en svensk myndighet som ansvarar för långsiktig planering för alla trafikslag samt drift och underhåll av den statliga väg- och järnvägsinfrastrukturen. Trafikverket upphandlar tekniskt godkänt material såsom system och komponenter från systemleverantörer, projekteringstjänster från konsulter samt byggande och underhåll från entreprenörer (Rey et al., 2022; Trafikverket, u.å.b; Trafikverket, u.å.c). Inom järnvägssidan tillhandahåller Trafikverket ett brett utbud av tjänster, inklusive trafikinformation och tåglägen till avtalskunder som trafikerar järnvägsinfrastrukturen och tillgodoser transporter till sina kunder.

För närvarande sker upphandling av underhållstjänster från entreprenörer av Trafikverket genom regionala basunderhållskontrakt för det löpande underhållet och nationellt för specifikt underhåll som maskinell besiktning, spårriktning och vegetationsbekämpning. Trafikverket har dock fått i uppdrag att även utvärdera det löpande underhållet i egen regi (Rosendahl et al., 2022). Som infrastrukturförvaltare ska Trafikverket uppnå en säkerhetsnivå som är samhällsekonomiskt hållbar för samhället. Det innebär att Trafikverket, förutom att följa författningarna, ska hushålla väl med statens medel och balansera målrelaterade till både säkerhet och punktlighet.

Trafikverket arbetar med att hantera begagnat material och återanvända komponenter, ofta kallade bristartiklar, inom järnvägsinfrastrukturen. Dessa bristartiklar är viktiga komponenter som inte längre tillverkas men fortfarande används i den nuvarande infrastrukturen. Underhållsåtgärder, såsom byte av spårväxelkomponenter, innebär antingen att komponenterna återvinns eller, om de klassificeras som bristartiklar, återanvänds vid senare tillfällen (Trafikverket, u.å.d). Trots att spårväxlar består av komponenter med lång teknisk livslängd,

saknas fortfarande tydliga rutiner för hantering av utbytta eller borttagna spårväxlar som inte inkluderar kritiska komponenter. Förbättrad kunskap om dessa processer och ett ökat fokus på att systematiskt hantera begagnat material kan öka mängden material som återanvänds (Toller et al., 2022). I detta sammanhang spelar återanvändning av material en avgörande roll i övergången till en cirkulär ekonomi (Milios et al., 2019).

I och med övertagande av underhåll i egen regi får Trafikverket en möjlighet att i större utsträckning själv utforma och tillämpa en cirkulär modell för effektiv och ändamålsenlig hantering av reservdelar för underhåll av järnvägsanläggningen, med syfte att minska merförseningar och kostnader samt öka hållbarhet.

1.3 Syfte och mål

Syftet med examensarbetet är att utforska förutsättningen och möjligheten att utveckla en cirkulär modell för effektiv och ändamålsenlig hantering av återanvända komponenter inom järnvägsunderhåll. Genom att genomföra driftsäkerhetsanalyser (RAM, Reliability, Availability & Maintainability) med hjälp av både kvalitativa och kvantitativa metoder, kommer olika kritiska spårväxelkomponenters för underhållsbehov att identifieras. Resultatet från dessa driftsäkerhetsanalyser kommer sedan att utgöra grunden för utformning av underhållsstöd för järnvägsspår och andra tekniska delsystem för ett effektivt och ändamålsenligt underhåll.

Därmed ska examensarbete fokusera på två delmål:

- Genomföra driftsäkerhetsanalyser för att identifiera kritiska komponenter i spårväxlar och platser i järnvägsanläggningen.
- Undersöka tillvägagångssätt för återanvändning av spårväxlar och ingående komponenter för ökad cirkularitet i underhållet av järnvägsanläggningen.

1.4 Frågeställning:

Hur kan en cirkulär modell utformas samt tillämpas för en effektiv och ändamålsenlig återanvändning av spårväxlar och ingående kritiska komponenter i förebyggande underhåll av järnvägsanläggningen?

1.5 Avgränsningar

Detta examensarbete kommer att genomföras som en fallstudie och avgränsas till specifika järnvägstråk: Malmbanan (21) och Haparandabanan (29). Analysen kommer även att omfatta bandelarna 119, 120 och 122, som är delar av Malmbanan. Valet av dessa områden baseras på ett av Trafikverkets underhållskontrakt, som syftar till att hantera underhåll av järnvägen i egen regi och omfattar Södra Malmbanan och Haparandabanan. Dessa områden utgör samhällskritisk infrastruktur och hanteras enligt grundläggande principer för kris, krig och beredskap. Principerna, som framhävts av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), inkluderar närhetsprincipen, ansvarsprincipen och likhetsprincipen (MSB, 2024; Ekholm, 2012).

Vidare är Malmbanan en kritisk järnväg för Sverige och spelar en central roll i den gröna omställningen. Dess betydelse sträcker sig bortom klimatförbättringar och påverkar även den framtida säkerheten och självförsörjningen i både Norden och Europa (LKAB, u.å.).

Beträffande delsystem och komponenter fokuserar examensarbetet på spårväxlar och deras komponenter, med hänsyn till deras långa tekniska livslängd. Studien undersöker hanteringen av komponenter för återanvändning av spårväxelkomponenter från högre besiktningsklasser som reservdelar på spår med lägre besiktningsklasser. Huvudfokus ligger på komponenter som utgör överbyggnaden, såsom spårväxelkomponenter: räl, slipers, ballast, korsningar och tungor, medan andra komponenter i anläggningen behandlas sekundärt.

Studiens främsta fokus är förebyggande underhållsåtgärder, särskilt komponentbyte innan fel inträffar på anläggningen. För att identifiera komponenter som anses vara kritiska kommer även orsaker till fel, felfrekvens och konsekvenser att undersökas. I detta sammanhang inkluderas även avhjälpande underhåll till viss del i analysen.

Med hänsyn till studiens tidsram, tillgängliga resurser och omfattningen av arbetet kommer diskussionen kring olika metoder för komponentbyte att hållas begränsad och inte utforskas utförligt i detalj. Vidare kommer relationerna och upphandlingsprocesserna mellan infrastrukturförvaltaren Trafikverket som beställare och de olika entreprenörer som utför underhållsarbetet inte att behandlas utförligt i rapporten. Istället kommer entreprenörerna att benämnas som en aktör, från vilken lärdomar kan dras gällande spårväxelbyte samt byte på komponentnivå.

2. TEORETISK REFERENSRAM

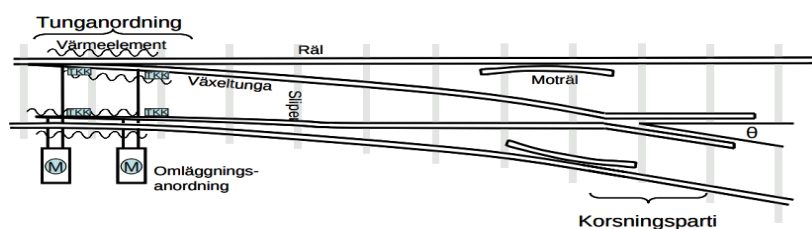
I detta kapitel presenteras teorin som ligger till grund för analysen av ämnet. I den teoretiska referensramen ges en kort översikt av järnvägssystemet. Därefter behandlas spårväxlar, deras ingående komponenter och övergripande funktionen av spårväxlar. Utöver detta behandlas ämnen som underhåll och dess olika typer, cirkulär ekonomi och logistik och cirkulära principer.

2.1 Järnvägssystem

Järnvägssystemet är ett komplex system bestående av olika system, delsystem och komponenter samt olika aktörer (tex infrastrukturförvaltare) som förser att alla dessa delar av systemet fungerar (Bårström & Granbom, 2012; Nissen, 2009). De två primära delsystemen som järnvägen utgörs av är infrastruktur och rullande material. Rullande material omfattas av de rörliga delarna av järnvägstransporten, som omfattas av bland annat lokomotiv, frakt och passagerarvagnar, är statligt eller privatägd. Infrastrukturen hanteras av spårförvaltare, som antingen offentligägda företag eller myndigheter (Ben-Daya et al., 2016; Bonnett & Clifford, 2005).

2.2 Spårväxlar

Spårväxlar är delsystem inom järnvägsinfrastrukturen (se Figur 1) som möjliggör för tåg att byta spår eller riktning. Den betraktas som en av de mest känsliga och underhållande (Bårström & Granbom, 2012). De primära funktionerna för spårväxlar inkluderar att säkert bära lasten från tåget samt möjliggöra trafik på både huvud -och avvikande spår (Nissen, 2009).



Figur 1. Spårväxel med beteckningar av olika typer av räl. Källa: Nissen (2005).

Som exempel, en anläggning för en enkel spårväxel består av tre huvuddelar; tunganordning, mellanparti och korsningsparti. Tunganordningen, som är den rörliga delen av anläggningen består av växeltungor, glidplattor, omläggningsanordning (växel driv, stänger), kontrollanordning och värmelement, som förser växeltungan med värme. De fasta delarna i anläggningen inkluderar korsningar, olika typer av räl, sliprar och underbyggnad (Andrews & Rama, 2013; Nissen, 2009; Trafikverket, 2021a).

Dirigering av ett tåg till ett annat spår sker vid tunganordningsdelen av anläggningen med hjälp av en omläggningsanordning, som ligger utanför järnvägsspåret (Rama & Andrews,

2013). Denna kan styras manuellt såväl som med pneumatiska, elektrohydrauliska eller elektriska drivsystem (Trafikverkets, 2021a). Med fjärrstyrning, elektriskt drivsystem bestående av motor, växellåda och andra komponenter, sänder elektriska signaler till dragstängerna, som i sin tur förflyttar växeltungorna sidleds (Nissen, 2009; Rama & Andrews, 2013). Utöver denna funktion har omlägningsanordningen också en låsmekanism som tillsammans med tungkontrollkontakter (TKK)-en kontrollanordning, säkerställer att växeltungor ligger korrekt an mot stödrälen över hela sin längd. För att trafik ska kunna tillåtas krävs att båda dessa system får klarsignal i tågledningens datasystem (Nissen, 2005; Trafikverket, 2021b).

Efter tunganordningen följer mellanpartiet, som förbinder växeltungan med korsningen- den delen av anläggningen som avser korsningspunkten mellan olika räl. Korsningspartiet omfattas av olika räl, såsom moträl, vingräl och spetsräl. Moträlens funktion är att vägleda tåget i dess avsedda riktning och förhindra hjulet (tågets riktning) att avvika sidleds och kollidera med korsningspetsen (Nissen, 2005; Nissen, 2009, Rama & Andrews, 2013). För en mer detaljerad beskrivning av andra komponenter och deras funktioner inom järnvägsinfrastrukturen återfinnas information i Bårström & Granbom (2012) och Trafikverket (2021b).

2.3 Underhåll

Underhåll innebär genomförande av åtgärder som syftar till att dels kontrollera eller förebygga försämringsprocessen av en konstruerad enhet samt dels att återställa enheten till dess operativa tillstånd genom att vidta korrekta åtgärder (efter ett inträffat fel). Underhåll grupperas i två huvudtyper, avhjälpande och förebyggande underhåll (Ben-Daya et al., 2016; Espling, 2004).

2.3.1 Förebyggande underhåll

Förebyggande underhåll är tidsbaserade uppgifter som genomförs för att förlänga enhetens livslängd eller öka dess tillförlitlighet (Ben-Daya et al., 2016). Enligt Duffuaa och Raouf (2015) definieras förebyggande underhåll som en serie förutplanerade åtgärder vars syfte är att motverka kända orsaker till potentiella fel som kan uppstå i samband med de avsedda funktionerna hos en enhet. Denna strategi grundar sig på antagandet att enheten kommer att degraderas inom en specificerad tidsram. Uppgifterna som ingår i denna typ av underhåll kan variera från reparationer, justeringar, uppriktning, visuella inspektioner, smörjning till utbyte av komponenter.

Underhållsåtgärderna planeras och schemaläggs baserat på tid (tidsbestämt underhåll), utrustningens tillstånd (tillståndsbaserat underhåll) samt användning (tillfällesbaserat underhåll) (Ben-Daya et al., 2016; Duffuaa och Raouf, 2015; Mobley, 2002).

2.3.2 Avhjälpande underhåll

Avhjälpande underhåll bygger på en "kör-till-fel"-strategi, en reaktiv metod som genomförs endast när fel har inträffat och enheten inte längre går att använda (Duffuaa & Raouf, 2015;

Mobley,2002). Strategin används under antagandet att underhållskostnaderna är mindre eller samma som för förebyggande underhåll. Det kan ibland vara billigare att låta en maskin gå till haveri än att förebygga det, eftersom förebyggande åtgärder kan medföra högre kostnader. I sådana fall, för system med frekventa fel, är det vanligt att använda parallella komponenter som säkerställer att verksamheten kan fortsätta vid eventuella störningar i anläggningen. De aktiviteter denna typ av underhåll består av inkluderar bland annat reparation och utbyte av komponenter. Utbyte av komponenter kan utföras när en utrustning är billig och samtidigt för dyr att reparera. Ett exempel kan vara att en trasig motor på en maskin byts ut och repareras för användning vid nästa fel. Dock medför reparation av enheter att maskinen inte återställs till sitt ursprungliga skick, utan blir något sämre än den ursprungliga. Detta beror på att alla delar i enheten inte renoveras samtidigt, samt att demontering och montering av komponenter kan öka risken för monteringsfel (Nissen, 2011).

Ben-Daya et al. (2016) fördjupar detta genom att hävda att det finns två kategorier av avhjälpande underhåll: akuta och fördröjda. Vid akuta avhjälpande underhåll vidtas åtgärder omedelbart för att korrigerar eller lösa fel som har uppstått, för att återställa enheter till deras funktionella tillstånd och förhindra ytterligare skador på produktionen samt undvika allvarliga konsekvenser som dödsfall och skador. Fördröjt underhåll innebär att det inträffade felet inte anses vara kritiskt och därför inte kräver omedelbara åtgärder.

Valet mellan de olika strategierna beror i stor utsträckning på den industriella kontexten. I verksamhet med kontinuerliga processer eller som beroende i hög grad på integrerade system, utgår från att implementera förebyggande underhåll medan avhjälpande underhåll oftast förekommer i industrier med låg grad integration (Nissen, 2011).

2.3.3 Komponentbyte som underhållsåtgärd för spårväxlar

Spårväxlar kräver ofta mer omfattande underhåll än andra delar av spårsystemet, eftersom de utsätts för stora påfrestningar när fordon passerar med ojämn hastighet och varierande kontaktyta mellan hjul och räl. Dessa påfrestningar leder till ökat slitage, som kan resultera i att spårvidden ökar, växelkomponenter slits ut och rälerna blir urholkade (Wickström, 2008).

Under underhållsprocessen kan en specifik komponent i spårväxeln behöva bytas ut flera gånger innan hela växeln behöver ersättas. När en komponent byts ut, kasseras den gamla delen och ersätts med en ny eller renoverad komponent. I vissa situationer kan komponenter återanvändas, till exempel vid ombyggnation av en bangård, där vissa delar av en spårväxel fortfarande är i gott skick och kan användas igen (Wickström, 2008).

2.4 Cirkulär logistik

Logistik är ett omfattande begrepp som strävar efter att effektivt organisera och styra flödet av varor och tjänster från leverantörer till kunder, vilket omfattar hela försörjningskedjan med flera aktörer involverade. Det innebär att planera och organisera alla aktiviteter inom materialflödet, från förvärv av material från leverantörer, mottagning, tillverkning, distribution av färdiga

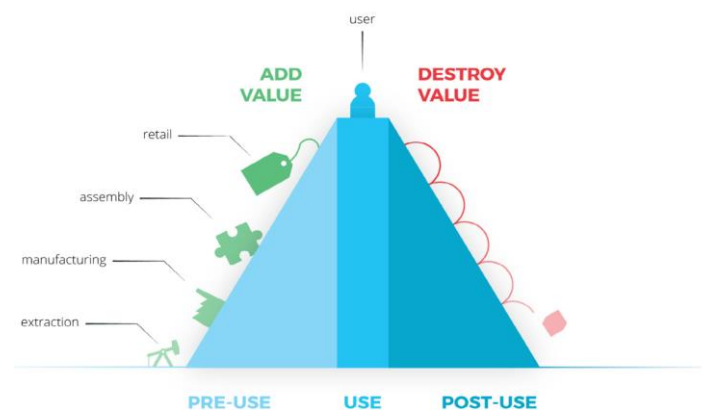
produkter och hantering av återflödet av material. Huvudsyftet är att tillgodose behoven och önskemålen hos både kunder och intressenter genom att erbjuda högkvalitativ kundservice, hålla kostnaderna på en minimal nivå, minimera kapitalbindningen, hantera miljökonsekvenser samt främja positiva sociala förhållanden (Jonsson & Mattsson, 2016; Segerstedt, 2018).

Cirkulär logistik är en utvidgning av begreppet och innefattar koncept som producentansvar, öppna och stängda materialflöden, leverantörssamarbeten och returflöden (Lahane et al., 2020; Kossila, 2021). Det traditionella materialflödet bygger på den linjära ekonomiska modellen som är baserad på slit-och-släng-modellen. Hedström (2019) beskriver det som en enkelriktad process där företag utvinnet råmaterial och använder energi och arbetskraft för att framställa produkter som sedan säljs till slutanvändarna. En sådan modell är dock inte hållbar då den genererar betydande avfallsproduktion och utarmar naturresurserna, vilket leder till knapphet och miljöförstöring.

I detta avseende erbjuder cirkulära materialflöden ett alternativ till de dominerande linjära materialflödena och möjliggör förbättringar i verksamhetens effektivitet, inte bara ekonomiskt utan också med tanke på sociala och hållbara aspekter (Genovese et al., 2017; Goyal et al., 2018; Lahane et al., 2020; Kossila, 2021).

2.4.1 Principer för cirkulära materialflöden

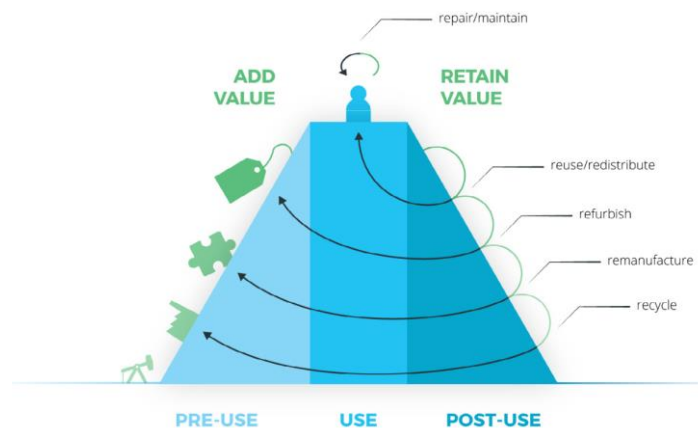
I Achterberg et al. (2016) presenteras en visuell representation av hur produkter ökar i värde med ett linjärt materialflöde (se figur 2). Enligt denna illustration ökar produkternas värde gradvis genom olika logistikaktiviteter och processer. När produkten når toppen är dess värde maximalt. Därefter, under en relativt kort livscykel, minskar värdet snabbt och produkten börjar avta nedför "kullen". Kossila (2021) påpekar att i de linjära materialflödena beaktas inte processen för hantering av begagnade produkter, vilket leder till att produkter förlorar sitt värde och vanligtvis hamnar som avfall eller på deponi.



Figur 2. Värdekulle utan cirkularitet. Källa: Achterberg et al. (2016)

Cirkulering enligt Blomsma, & Tennant (2020) är de åtgärder som genomförs för att fånga upp och förhindra att en produkt förlorar sin förmåga att leverera värde, eller åtgärder som återför den till ett tillstånd av produktkvalitet efter denna förmåga har gått förlorad eller äventyrande. I beaktande av produktens tillstånd och dess återstående värde kan åtgärder vidtas för att

bibehålla och förlänga produktens och dess komponenters livsläng. Med figur 3 illustreras "Värdekullen" från Achterberg et al. (2016) för cirkulära materialflöden, som visar alternativa och möjliga angreppssätt för hur produkter och material kan hanteras under och efter deras användning (beroende på var i kullen de befinner sig) med syftet att bevara deras kvalitet och värde i största möjliga utsträckning. Dessa aktiviteter är följaktligen enligt de cirkulära principerna; återanvändning(reuse), rekonditionering (*refurbish*), återtillverkning (*remanufacture*) samt återvinning (*recycle*)(Kossila, 2021;Potting et al., 2017).



Figur 3. Värdekulle med cirkularitet. Källa: Achterberg et al. (2016)

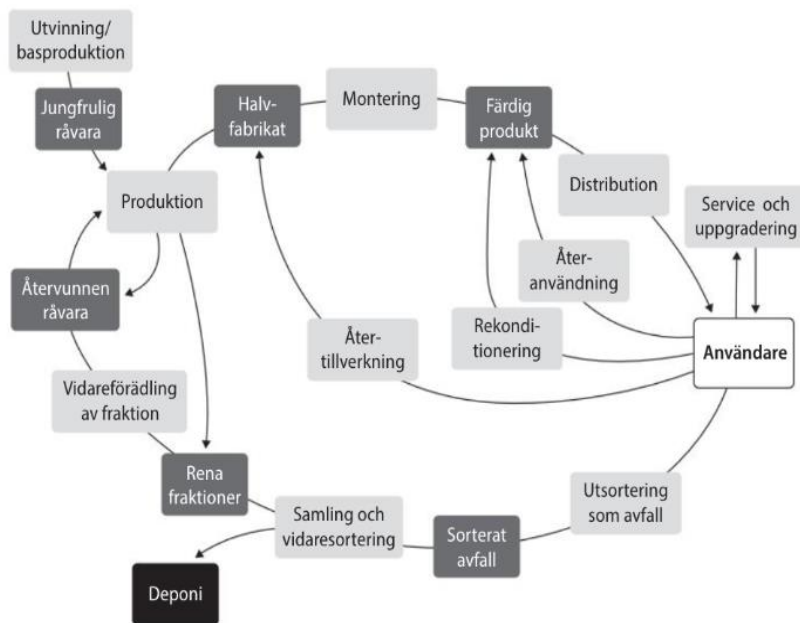
Andra tolkningar förekommer då baserad på tidiga verk förmedlar Bocken et al. (2016) två grundläggande strategier (som även kan kombineras) är återanvändning och återvinning av material så kallade genom att stänga det linjära flödet "resursloopar". Den första strategin (*slowing loop*) fokuserar på att förlänga produktens livslängd genom att exempelvis designa långvariga produkter och förlängning av produktens livslängd genom åtgärder, som underhållsåtgärder som reparation eller återtillverkning. Den andra strategin (*closing loop*) handlar om att stänga flödet från produktion till konsumtion och därmed återanvända material genom återvinning.

2.4.1.1 Återtillverkning(*remanufacture*)

Kossila (2021) beskriver återtillverkning, även kallad fabriksreovering eller *remanufacturing*, är en metod för att förlänga livslängden på olika produkter genom att reparera och återställa dem till nära-originalskick. Detta innebär att trasiga delar byts ut, mekanismen smörjs och eventuellt färgen förnyas, vilket ger produkten nytt liv och användningsvärde. Även om en produkt inte längre kan användas för sitt ursprungliga syfte kan den efter återtillverkning potentiellt fungera för andra ändamål eller för andra användare. För att utföra återtillverkning krävs ofta noggrann rengöring, inspektion och eventuell demontering av produkten för att bedöma reoveringsbehoven. Vissa delar kan behöva bytas ut medan andra kan reoveras för att återanvändas. Därefter återmonteras produkten enligt specifikationer för att säkerställa att den uppfyller samma kvalitetsstandarder som nyproducerade varor. Syftet med återtillverkning är att återställa produkten till sin ursprungliga funktionalitet och kvalitet, vilket gör det möjligt att behålla värdet samtidigt som användningen av nya råvaror och resurser minskar jämfört med

nyproduktion. Eventuellt kan också delar användas för att bygga nya produkter, medan andra sparas som reservdelar för framtida behov. Återtillverkning är således en viktig metod för att minska avfall och främja cirkulär ekonomi genom att förlänga livslängden på produkter och optimera användningen av resurser (Kossila, 2021).

Figur 4 visar materialflödet och de olika alternativ för hantering;



Figur 4. Idéskiss över cirkulära materialflöden. Källa: Kossila (2021)

2.4.1.2 Utmaningar och lösningar

Cirkulära materialflöden har flera tillvägagångssätt för att involvera aktörer i värdekedjan jämfört med den linjära ekonomin, eftersom material kan cirkuleras på olika sätt i värdekedjan. Detta kan bidra till ytterligare lager av komplexitet ur ett logistiskt perspektiv och skapa utmaningar beroende på produkt och värdekedja. Olika produkter och branscher har sina egna unika värdekedjor och produktionsprocesser, vilket innebär att förutsättningarna för cirkulära materialflöden och logistiska utmaningar kan variera avsevärt (Kossila, 2021).

I sin studie identifierar författarna Salmenperä et al. (2021) flera betydande hinder för implementeringen av cirkulär ekonomi. De ekonomiska hindren inkluderar höga insamlingskostnader, osäkra intäktmodeller och brist på fungerande marknader för återanvända material. Investeringar i återvinningsanläggningar är kostsamma, och jungfruliga material är ofta billigare än återanvända material, vilket minskar incitamenten för återvinning och återanvändning. Designen av produkter utgör ytterligare en utmaning, då detta kan leda till höga arbetskostnader vid reparation på grund av otillgängliga reservdelar, brist på kompetent personal eller avsaknad av relevant information om hur reparationer ska genomföras. Dessa faktorer bidrar till att reparationer blir dyra, vilket gör att det relativt sett blir billigare att köpa nytillverkade produkter (Kossila, 2021). Vidare identifieras teknologiska och informationsrelaterade hinder som brist på systematisk planering, otillräckliga data och

konkurrerande datasystem. Dessa aspekter skapar förvirring och försvårar bedömningen av fördelarna med cirkulära affärsmodeller. Kontinuerliga modifieringar vid utveckling av produkter och processer är också nödvändiga för att möta dessa utmaningar (Salmenperä et al., 2021).

På institutionell nivå uppstår hinder genom osäkerheter kring olika regelverk och strikta lagar som begränsar användningen av återanvända material. Tidskrävande tillståndprocesser, fragmenterad ansvarsfördelning och regionala skillnader i avfallshantering skapar ytterligare osäkerheter. Slutligen identifieras sociokulturella hinder som varierande kundreaktioner på återanvända material, negativa attityder bland allmänheten och en tveksam affärskultur som hämmar cirkulära initiativ. Dessa faktorer bidrar till att försvåra implementeringen av cirkulär ekonomi (Salmenperä et al., 2021).

För att etablera ett effektivt system för materialcykler identifierar Salmenperä et al. (2021) flera kritiska åtgärder. Det finns ett behov av att öka kunskapen om de ekonomiska fördelarna med cirkulär ekonomi samt att till exempel förbättra informationsdelningen kring avfallsrelaterade data. Utökad dialog och samarbete mellan alla nyckelaktörer i värdekedjan är också avgörande. Dialoger bör drivas med olika aktörer längs hela värdekedjan. Salmenperä et al. (2021) hävdar bygga förtroende för cirkulära modeller kommer att ta tid. Denna process kan underlättas genom utveckling av kritisk kompetens och delning av framgångshistorier, vilket kan förändra inställningen hos nyckelaktörer och därmed främja cirkularitet.

Studien understryker vikten av ett systemperspektiv och samarbete över olika domäner för att övervinna de komplexa hinder som finns inom cirkulär ekonomi. (International Union of Railways [UIC], 2021) kompletterar dessa insikter genom att belysa ytterligare strategier för att främja cirkulär ekonomi. UIC (2021) betonar behovet av att bygga kapacitet och öka medvetenheten genom utbildning och främjande av cirkulära-principer inom organisationer. Det är också avgörande att uppmuntra tvärasektoriellt samarbete, där företag inom olika branscher arbetar tillsammans för att utveckla innovativa lösningar och nya affärsmodeller som stödjer återanvändning och återvinning av material.

2.4.2 Cirkularitet inom järnvägsanläggningen

I UIC (2021) beskrivs hur cirkulär ekonomi kan tillämpas på järnvägens anläggning genom att effektivt hantera materialflödet för olika spårkomponenter på ett effektivt och hållbart sätt. Organisering av materialflödet är central för effektiv återanvändning och återvinning av järnvägskomponenter. Ett exempel på god praxis från Network Rails återvinningscenter i Whitemoor, där olika spårkomponenter som sliper, räl och korsningar sorteras och klassificeras för återanvändning eller återvinning.

2.4.2.1 Praxis för sliper, räl, spårväxlar och befästningar

Network Rail skickar alla använda sliprar som samlas in under underhållsarbeten till centraliserade anläggningar där de inspekteras av experter. Om sliprarna uppfyller kriterierna för återanvändning skickas de tillbaka till spåransläggningen. Om sliprarna inte kan återanvändas, återvinns de. Återvinningstekniker beror på vilket material de är gjorda av. Betongsliprar krossas vanligtvis, armeringsjärnet extraheras och säljs som skrotmetall. Träslipers säljs för användning inom trädgårds- och landskapsplanering eller möbeltillverkning (UIC, 2021).

2.4.2.2 Praxis för räls, spårväxlar och befästningar

Spårväxlar och räls är gjorda av stål, ett material som kan återvinnas oändligt och därför ofta återvinns. Utöver återvinning utvärderas komponenterna för återanvändning. Om komponenterna är i gott skick kan de återinstalleras. Komponenter som är "nästan som nya" återanvänds på mindre låg trafikerade linjer, medan oanvändbara komponenter säljs som skrot och återvinns till nya stålprodukter (UIC, 2021).

3. METOD OCH GENOMFÖRANDE

I detta kapitel beskrivs de metoder och tillvägagångssätt som har använts under studiens genomförande.

3.1 Forskningsstrategi

För denna studie har fallstudie valts som forskningsstrategi, vilket enligt Yin (2009,) möjliggör en djupgående analys av specifika fenomen inom en verklighetsbaserad kontext. Denna strategi är användbar eftersom den tillåter en detaljerad undersökning av fenomenet i dess faktiska sammanhang och är särskilt lämplig när både kvantitativa och kvalitativa data analyseras (Eisenhardt, 1989; Yin, 1984). Valet av fallstudie som strategi grundade sig på behovet av att få en detaljerad och kontextspecifik förståelse av de utmaningar och möjligheter som finns vid återanvändning av kritiska spårväxelkomponenter på Malmbanan och Haparandabanan.

3.2 Forskningsansats

En forskningsansats beskriver tillvägagångssättet för insamling och analys av data, och det kan vara deduktiv, induktiv eller abduktiv. För denna studie har en abduktiv ansats valts, vilket kombinerar både deduktiva och induktiva tillvägagångssätt för att utveckla en djup förståelse för forskningsproblemen. Fördelarna med denna ansats är att den är användbar när forskaren behöver vara flexibel och anpassningsbar eftersom hypoteser och teorier kontinuerligt justeras baserat på nya data och insikter (Dubois & Gadde, 2002). I denna studie används en abduktiv ansats för att undersöka hur en cirkulär modell kan utformas och tillämpas för effektiv återanvändning av spårväxlar och dess komponenter inom järnvägsunderhåll. Denna ansats har möjliggjort en dynamisk och iterativ forskningsprocess som anpassades efter de insikter som erhållits under studiens gång.

3.3 Datainsamling

Denna studie har använt sig av två olika typer av data: primär- och sekundärdata, för att uppfylla syftet med rapporten samt de angivna delmålen. Primärdata samlades in genom en kombination av semi-strukturerade och ostrukturerade intervjuer med nyckelpersoner inom järnvägsinfrastrukturen. Sekundärdata bestod av historiska data från Trafikverkets databaser (BIS, Ofelia och Bessy), vilka användes för att genomföra analyser, samt dokumentstudier och litteraturstudier från relevanta artiklar, tidskrifter och Trafikverkets interna dokument. Vid genomförandet av dataanalysen för Trafikverkets datasystem användes både Minitab och Excel.

3.4 Litteratur- och dokumentstudier

Dokumentstudier genomfördes med material erhållet från Trafikverket, medan litteraturstudier utfördes för ämnesfördjupning samt för att formulera teoretiska ramverk relaterade till driftsäkerhetsanalys, logistik, järnväg och cirkulär ekonomi. För att erhålla material användes akademiska databaser såsom Scopus, Google Scholar och LTU Bibliotek.

3.5 Intervjuer

För att undersöka de möjligheter och förutsättningar som finns för utformandet av en cirkulär modell samt för att identifiera kritiska komponenter, genomfördes både semi-strukturerade och ostrukturerade intervjuer. Respondenterna inkluderade individer med nuvarande eller tidigare anknytning till järnvägsinfrastrukturen, såsom teknikspecialister, projektledare, underhållsingenjörer, verksamhetsutvecklare samt pensionerade järnvägsförvaltare.

De semi-strukturerade intervjuerna utfördes med enskilda respondenter och följde en detaljerad intervjuguide. Denna struktur säkerställde en systematisk och omfattande datainsamling, samtidigt som den gav möjlighet till flexibel och djupgående utforskning av specifika områden. Respondenterna fick även till stor del diskutera fritt, vilket tillät dem att framföra ytterligare insikter och perspektiv som inte strikt följde intervjuguiden.

De ostrukturerade intervjuerna genomfördes i grupsituationer och riktades mot pensionerade experter för att erhålla insikter om historiska hanteringsmetoder för spårväxelmateriel, metoder som inte längre används. En särskild ostrukturerad intervju genomfördes med pensionerade järnvägsarbetare för att få kunskap om tidigare praktiker. Ytterligare en ostrukturerad intervju genomfördes med två individer som deltagit i ett studiebesök i Storbritannien, där de erhållit information om moderna metoder för återanvändning av spårväxlar.

Urvalet av respondenter skedde initialt genom rekommendationer från Trafikverket och utvecklades vidare genom snöbollsurval, där initiala respondenter hänvisade till ytterligare relevanta personer.

Samtliga intervjuer spelades in med respondenternas medgivande, och anonymitet säkerställdes för alla deltagare. Inspelningarna möjliggjorde noggrann transkribering och analys. Den insamlade datan genomgick tematisk analys för att identifiera återkommande mönster och viktiga insikter, vilket bidrog till att uppfylla studiens övergripande syfte och mål.

Tabell 1. Respondenter

Respondent	Yrkesroll/Titel	Tid	Typ av intervju
UH 1	Konsult	57 timme	Semi-strukturerad intervju
UH 2	Konsult	123 minuter	
UH 3	Konsult	50 minuter	
PL	Projektledare	Ca 30 + 60 min	Semi-strukturerad intervju och ostrukturerad gruppintervju
EUH 1	Pensionerad banförvaltare	Ca 1.5 timmar	Ostrukturerad gruppintervju
EUH 2	Pensionerad banförvaltare		
LVS 1	Verksamhetsutvecklare Inköp och Logistik	Ca 45 min	Ostrukturerad gruppintervju
LVS 2	Verksamhetsutvecklare Inköp och Logistik		

3.6 Databasstudie

Baninformationssystemet (BIS) är Trafikverkets datasystem avsett för både hämtning och lagring av information gällande banrelaterade anläggningar och händelser. Data analyserades med hjälp av programvaran Excel. I denna analys genererades en pivottabell som visualiserade de olika bandelarna, antalet växlar samt de besiktningsklasser som respektive bandel har, samt deras fördelning.

Ofelia (Noll fel i anläggningen) är Trafikverkets felrapporteringssystem som används för att registrera och analysera fel inom järnvägsinfrastrukturen. Denna studie använde feleffektanalys (*Failure Mode, Effects, and Critical Analysis*) samt *bow tie*-logiken, dels för att identifiera olika felorsaker, felfrekvenser, feltyper och konsekvenser, dels för att analysera kausala samband i riskscenarier och visualisera både orsaker och konsekvenser av händelser (Bergman & Klefsjö, 2020; Mahboob et al., 2018).

Analysprocessen omfattade flera steg. Först identifierades orsakerna till fel och de specifika feltyper som dessa orsaker resulterade i. Därefter fastställdes vilka komponenter som orsakade

tågstörande fel samt merförseningar. Slutligen undersöktes sambandet mellan felfrekvens och konsekvenser för att identifiera de mest kritiska komponenterna.

För att analysera Ofelia-data från 2015 till 2023, först på anläggningsnivå och sedan på komponentnivå, användes olika diagram och analysmetoder. De olika verktygen för analys av data, såsom paretodiagram och sambandsdiagram finns beskrivna i Bergman & Klefsjö (2020) och i Johansson (1997). Pivottabeller och pivotdiagram användes för att organisera och visualisera data om de olika anläggningsdelarna för spårväxlar på Malmbanan och Haparandabanan. Paretodiagram användes för att identifiera och rangordna de mest frekventa feltyperna samt för att bestämma vilka komponenter på enhetsnivå som oftast drabbades. Tidserieplott användes för att få en bild av felfrekvenserna för respektive anläggningsdelarna över tid, vilket möjliggjorde identifiering av trender. Sambandsdiagram (bubbeldiagram) användes för att visualisera relationerna mellan antal påverkade tåg, antal fel och antal merförseningar, både totalt över nio år samt per år. Merförseningar och antal tåg som drabbades betraktades som konsekvenserna i denna analys.

För att få en mer konkret bild av vilka komponenter som leder till oönskade konsekvenser genomfördes en analys av konsekvenser per fel för respektive komponent. Denna analys innebar att konsekvenserna kvoterades i termer av antal störda tåg per inrapporterat fel samt merförseningar i minuter delat på inrapporterade fel. Detta tillvägagångssätt möjliggjorde en identifiering av kritiska komponenter som, trots att de hade låg felfrekvens, resulterade i stora konsekvenser jämfört med andra komponenter som kanske hade flera fel men ledde till proportionellt låga konsekvenser.

Bessy är ett datasystem som Trafikverket använder för att registrera besiktningsanmärkningar inom järnvägsinfrastrukturen. För analysen av Bessy-data användes enbart paretodiagram och pivotdiagram för att identifiera kritiska komponenter. Paretodiagram användes för att identifiera de komponenter med flest antal besiktningsanmärkningar. Pivotdiagram användes dels för att identifiera orsakerna till anmärkningar för respektive komponenter, dels för att visa frekvensen av anmärkningar för olika besiktningsklasser över tid (2010-2020), samt anmärkningstyper för respektive enhet inom besiktningsklasser. Vidare, tidsserie-plottar gjordes för att se trender för respektive anmärkningstyp över tid. Dessa analyser gjordes för att få en tydlig bild av hur besiktningsanmärkningarna varierade över tid och vilka komponenter som var mest drabbade samt i vilken besiktningsklass de tillhörde.

3.7 Validitet och reliabilitet

För att säkerställa reliabiliteten och validiteten i denna studie vidtogs flera åtgärder. I den kvalitativa delen användes en standardiserad intervjuguide vid de semi-strukturerade intervjuerna, vilket minimerade variationen i datainsamlingen och ökade reliabiliteten. Respondenterna fick frågorna i förväg för att kunna förbereda sig noggrant, vilket bidrog till genomtänkta och konsekventa svar och stärkte validiteten. Samtliga intervjuer spelades in med respondenternas medgivande, vilket möjliggjorde noggrann transkribering och analys av intervjudatan och minskade risken för misstag och inkonsekvenser. Detta förbättrade både

reliabiliteten och validiteten genom att säkerställa att alla detaljer bevarades och analyserades korrekt. Intervjuerna genomfördes av samma intervjuare för att minska variationskällor och bias, vilket ytterligare ökade reliabiliteten. Respondenternas anonymitet säkerställdes, vilket främjade ärliga och uppriktiga svar och därmed ökade validiteten.

Studien inkluderade ett brett spektrum av respondenter från både semi-strukturerade och ostrukturerade intervjuer, vilket innefattade personer med erfarenheter av hur spårväxlar och komponenter återbrukades i Sverige samt hur återbruket sker i Storbritannien. Detta gav en rikare och mer nyanserad bild av återbruksprocesserna, vilket förbättrade validiteten genom att inkludera mångfacetterade perspektiv. Det stärkte även reliabiliteten genom att inkludera olika perspektiv och erfarenheter, vilket minskade risken för partiskhet. Validiteten i den kvalitativa delen stärktes ytterligare genom dokumentstudier om återanvändning av spårväxlar, vilket gav djupare insikter och verifierade den insamlade datan från intervjuerna.

Det fanns dock potentiella faktorer som kunde påverka både reliabiliteten och validiteten negativt. Exempelvis kunde intervjuerna påverkas av respondenternas subjektiva uppfattningar och eventuella vilja att framställa sig själva eller sina organisationer i ett positivt ljus, vilket kunde minska validiteten. Frågornas formulering och sättet de ställdes på kunde också ha påverkat svaren. Ledande frågor eller missförstånd kring frågornas innebörd kunde ha introducerat bias. Tolkningar och sammanställningar av intervjudata kunde också introducera bias, vilket kunde påverka reliabiliteten negativt. När det gäller insamling och analys av kvantitativa data från Trafikverkets databassystem, Bessy och Ofelia, vidtogs också flera åtgärder för att säkerställa reliabiliteten och validiteten. Data från Bessy täckte perioden 2010–2020 och från Ofelia 2015–2023. Båda datamängderna analyserades iterativt under studiens gång.

Kontinuerliga diskussioner med handledare för att avgöra relevanta parametrar och filtrera bort irrelevanta data bidrog till att säkerställa en fokuserad och konsekvent analys, vilket minskade risken för variationer. Validiteten i studien säkerställdes genom att all relevant data från Bessy och Ofelia inkluderades, vilket garanterade att alla viktiga aspekter av spårväxlar och deras underhåll beaktades. Iterativ analys av data under studiens gång säkerställde att analysen var dynamisk och anpassades efter nya insikter, vilket förbättrade validiteten genom att säkerställa att resultaten var aktuella och relevanta. Kontinuerliga diskussioner med handledare säkerställde att de relevanta parametrarna identifierades och inkluderades i analysen, vilket förbättrade validiteten genom att fokusera på de mest relevanta aspekterna.

Det fanns dock flera potentiella faktorer som kunde påverka både reliabiliteten och validiteten negativt. Felaktig eller ofullständig dataregistrering i databassystemen kunde påverka både reliabiliteten och validiteten. Dessutom kunde variationer i hur data hade registrerats över tid eller mellan olika personer som hanterade databasen leda till inkonsekvenser som påverkade studiens resultat. Begränsningar i datarepresentativitet och eventuella systematiska fel i datainsamlingen kunde också påverka validiteten negativt. Vidare kunde storleken på Excel-filerna och filtreringsprocessen ha introducerat fel eller bortfall av data, vilket kunde påverka både reliabiliteten och validiteten. Slutligen bör det noteras att graferna som användes för att visualisera data tenderade att ge en approximation snarare än en exakt bild, vilket kan påverka precisionen i resultaten och därmed validiteten. Vid analysen av data från Bessy och Ofelia användes grafer för att illustrera felen, anmärkningarna och vilka komponenter som drabbades. Mycket av detta berodde på hur datan filtrerades, till exempel vad som ansågs vara slitage-

relaterade mått. Dessa filtreringsval kunde påverka både reliabiliteten och validiteten genom att de bestämde vilka data som inkluderades i analysen och hur de tolkades.

4. FALLSTUDIE BESKRIVNING

I detta kapitel beskrivs studiens fallstudier, Malmbanan och Haparandabanan, med fokus på deras betydelse, underhållsprocesser och besiktningrutiner. Avsnittet omfattar även Trafikverkets metoder för säkerhets- och underhållsbesiktningar samt klassificering och prioritering av besiktninganmärkningar. Detta ger en övergripande bild av hur underhåll och besiktningar hanteras för att säkerställa järnvägarnas funktion och säkerhet.

4.1 Malmbanan

Malmbanan en av Sverige mest trafikerade järnvägar och spelar en avgörande roll för både godstransporter och personresor. Sträckan mellan Boden och Riksgränsen, som sträcker sig vidare till Narvik i Norge och utgör en viktig transportkorridor för malmtransporter, persontransporter och godtransporter. Sträckan sträcker sig över 50 mil från Boden till Riksgränsen och fortsätter vidare till Narvik i Norge. Formellt hör sträckan Boden-Luleå (bandel 119) till Stambanan. Kapacitet för 30 ton axellast möjliggör att tåg med en vikt på upp till 8 600 ton och en längd på 750 meter, bestående av totalt 68 vagnar, kan transporteras längs banan. I nuläget passerar cirka 24 malmtåg per dag mellan Kiruna och Narvik i både riktningar, medan ungefär 8 malmtåg per dygn trafikeras i sträckan mellan Malmberget och Luleå. Dessutom är sträckan vältrafikerad med cirka 10 persontåg per dygn, medan sträckan mellan Kiruna och Riksgränsen har ungefär fyra persontåg per dygn. Vissa delar av järnvägen har förstärkts för att klara en ännu högre axellast på 31 ton, vilket gör det möjligt för ännu tyngre malmtåg att passera. Malmbanan utsätts för hård belastning (Trafikverket, 2024).

En av bidragande faktorerna är dess användning för persontrafik har också ökat avsevärt, med en växande efterfrågan från resenärer som föredrar tågresa av miljömässiga skäl. Särskilt populärt är nattåget till Narvik som har fått ökad popularitet. Det finns en stigande ström av turister, både nationella och internationella, som vill utforska de svenska fjällen och väljer tåget som en del av sin reseupplevelse (Trafikverket, 2024).

För beskrivningen av Malmbanan kan den delas in i tre sträckor Johansson & Lundström (2021);

- Södra omloppet, Koskullskulle-Gällivare-Boden-(Luleå). Mellan Koskullskulle och Boden innefattas den södra omloppet av olika bandelar dessa inkluderar Luleå-Boden (bandel 119), Boden-Buddbyn (bandel 120), Buddbyn-Murjek (bandel 118) samt Murjek-Gällivare. Den totala sträckan mellan Boden och Gällivare uppgår till ungefär 220 kilometer. Bandel 114 utgör sträckan mellan Gällivare och Koskullskulle sträckor (Johansson & Lundström, 2021).
- Sträckan mellan Gällivare och Kiruna består av bandel 113 och sträcker sig över 120 kilometer. Den sträcker sig från Gällivare central via Råtsi, där spåret från Svappavaara ansluter i ett triangelspår och fortsätter sedan till Peuravaara (Johansson & Lundström, 2021).

- Norra omloppet, Svappavaara-Kiruna-Riksgränsen-(Narvik). Sträckorna som går mellan Svappavaara-Kiruna-Riksgälden-Narvik, känd som det norra omloppet, omfattas av bandel 111, 112,113 samt 116. Från Kiruna till Riksgränsen sträcker sig banan över ca 145 kilometer sträckor (Johansson & Lundström, 2021).

4.2 Haparandabanan

Haparandabanan är en strategiskt viktig järnvägslinje som sträcker sig mellan Boden och Haparanda, med anslutning till Finland. Den spelar en central roll i transporten av naturresurser som skog, malm, gas och olja. Järnvägsträckan består av flera bandelar; Boden-Morjärv (bandel 137), Morjärv-Kalix-Bredviken (bandel 132) och Bredviken-Vuonoskogen-Haparanda (bandel 133) (Bergdahl et al, 2014).

4.3 Underhåll av svenska järnvägar; basunderhåll, besiktningsskyltar och anmärkningar

Trafikverket sköter underhållet av järnvägsanläggningar genom en välplanerad och strukturerad process som omfattar både avhjälpande och förebyggande åtgärder. Basunderhållet är fundamentet i underhållsplanen och syftar till att säkerställa en fungerande järnvägsinfrastruktur. Det avhjälpande underhållet innebär snabb åtgärd av akuta anmärkningar, veckoanmärkningar, samt utförande av vintertjänster och skadereparationer. Det förebyggande underhållet genomförs för att minska risken för fel och försämringar i anläggningens funktion. Det inkluderar tillståndsbaserade inspektioner och förutbestämda underhållsåtgärder för att bibehålla järnvägsanläggningens prestanda. Underhållet sker främst genom baskontrakt som täcker olika geografiska områden. Miljöaspekter är också en viktig del av underhållsprocessen, där krav ställs på användningen av miljövänliga drivmedel och maskiner för att minska miljöpåverkan Sundh, & Canaki (2024).

I samband med detta, säkerhetsbesiktning och underhållsbesiktning spelar en avgörande roll för att säkerställa säkerhet och driftkapacitet hos järnvägsanläggningar. Dessa besiktningar syftar till att identifiera eventuella brister eller avvikelser i anläggningens tillstånd (Hedström, 2001).

4.3.1 Besiktningar för avhjälpande -och förebyggande underhåll

Säkerhetsbesiktning fokuserar på att bedöma anläggningens säkerhet och identifiera eventuella omedelbara risker för olyckor eller driftstörningar. Det görs genom bedömningar av det aktuella tillståndet och risken för att anläggningen inte kommer att kunna uppfylla säkerhetskraven fram till nästa besiktning (Trafikverket, 2020). Ekström (2015) påpekar att denna typ av besiktning fungerar som en sista försvarslinje för att förhindra att något allvarligt inträffar och är därför oftast kopplad till det avhjälpande underhållet.

Med underhållsbesiktning bedöms anläggningen eller dess delar med fokus på att förutse behovet av framtida underhållsåtgärder och därmed kopplas det till förebyggande underhåll.

Denna bedömning görs genom att analysera det aktuella tillståndet i dess tidiga skede och bedöma risken för att anläggningen inte kommer att kunna uppfylla sin funktion till nästa besiktning (Trafikverket, 2015; Ekström, 2015). Det poängteras att varje underhållsbesiktning resulterar i en rapport som utgör underlag för att planera åtgärder och adressera eventuella brister. Denna åtgärdsplanering är avgörande för att säkerställa att kraven på järnvägens funktion och dess optimala tekniska och ekonomiska livslängd kan upprätthållas. Underhållsbesiktningarna genomförs med regelbundna intervall och anpassas efter de specifika behoven på järnvägssträckan för att garantera dess fortsatta drift och effektivitet (Ekström, 2015).

4.3.2 Besiktningens anmärkningar

Prioritering av anmärkningar för underhållsåtgärder görs baserat på allvarlighetsgraden och tidsramen för åtgärden. Anmärkningar för säkerhetsbesiktning kan klassificeras i fyra kategorier; A, V, M samt B (Trafikverket, 2020);

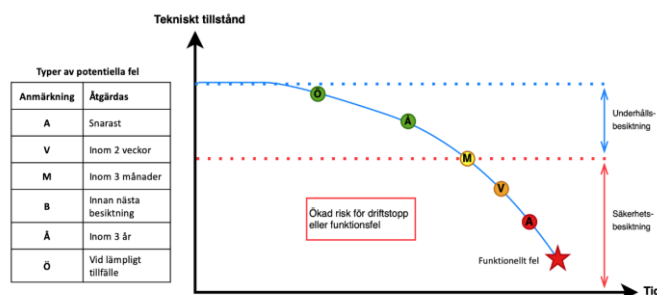
- A-kategorin innebär omedelbar risk för olycka eller tågstörning och kräver omedelbara åtgärder.
- V-kategorin indikerar att åtgärden bör genomföras inom två veckor,
- M-kategorin innebär att åtgärden bör utföras inom tre månader.
- B innebär att problem bör åtgärdas innan nästa besiktningstillfälle.

För underhållsbesiktning fall klassificeras anmärkningar i tre kategorier: M, Å, och Ö (Trafikverket, 2015);

- M-kategorin innebär att åtgärden bör utföras inom tre månader
- Å-kategorin bör åtgärdas inom tre år
- Ö-kategorin innebär att åtgärder kan utföras vid lämpligt tillfälle.

Därmed, besiktningens anmärkningar dokumenteras för framtida uppföljning och åtgärdas enligt den prioriteringsgrad och tidsram som fastställts vid besiktningen (Trafikverket, 2015; Trafikverket, 2020).

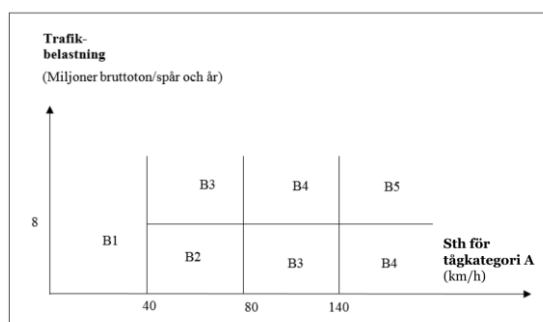
I Figur 5 nedan av Berg et al. (2020) visar en grov sammanfattning av hur de olika besiktningens anmärkningar används utifrån försämringen av anläggningens tekniska tillstånd, samt vilken typ av besiktning de ingår i, underhålls -eller säkerhetsbesiktning.



Figur 5. Samband mellan anmärkningar och försämring av tekniskt tillstånd. Källa: Berg et al. (2020)

I Hedström (2001) förklaras att besiktningssklasserna för järnvägsanläggningar bestäms genom att ta hänsyn till flera faktorer. För det första tas trafikbelastningen i beaktande, vilket uttrycks som bruttoton per spår och år. Utöver detta beaktas även banans maximala tillåtna hastighet/största tillåtna hastighet (STH). Dessutom påverkas besiktningssklassen av andra variabler, såsom typen av trafik som använder banan, klimatförhållanden, geotekniska förutsättningar, ålder och kvalitet på anläggningen samt dess tekniska uppbyggnad. Genom att väga in dessa faktorer kan man fastställa den lämpliga besiktningssklassen för varje specifik del av järnvägsanläggningen (Hedström, 2001).

I Figur 6 och 7 redovisas sambandet mellan tonnage, hastighet och hur de utgör olika besiktningssklasserna; B1, B2, B3, B4 och B5.



Figur 6. Bestämning av miniminivå för besiktningssklass ur sth för tågkategori A och besiktningssklass. Källa: Trafikverket (2019)

Klass	Tillämpas för sth för tågkategori A:
B1	Hastighet: Mindre än eller lika med 40 km/h
B2	Hastighet: Högre än 40 km/h men mindre än eller lika med 80 km/h Trafikbelastning: Mindre än eller lika med 8 miljoner brt/spår & år
B3	Hastighet: Högre än 40 km/h men mindre än eller lika med 80 km/h Trafikbelastning: Högre än 8 miljoner brt/spår & år
B4	Hastighet: Högre än 80 km/h men mindre än eller lika med 140 km/h Trafikbelastning: Högre än 8 miljoner brt/spår & år
B5	Hastighet: Högre än 140 km/h Trafikbelastning: Mindre än eller lika med 8 miljoner brt/spår & år

Figur 7. Besiktningssklassernas tillämpning. Källa: Trafikverket (2019)

I och med det, anläggningar som består av högre besiktningssklasser besiktas flera gånger per år (Ekström, 2015).

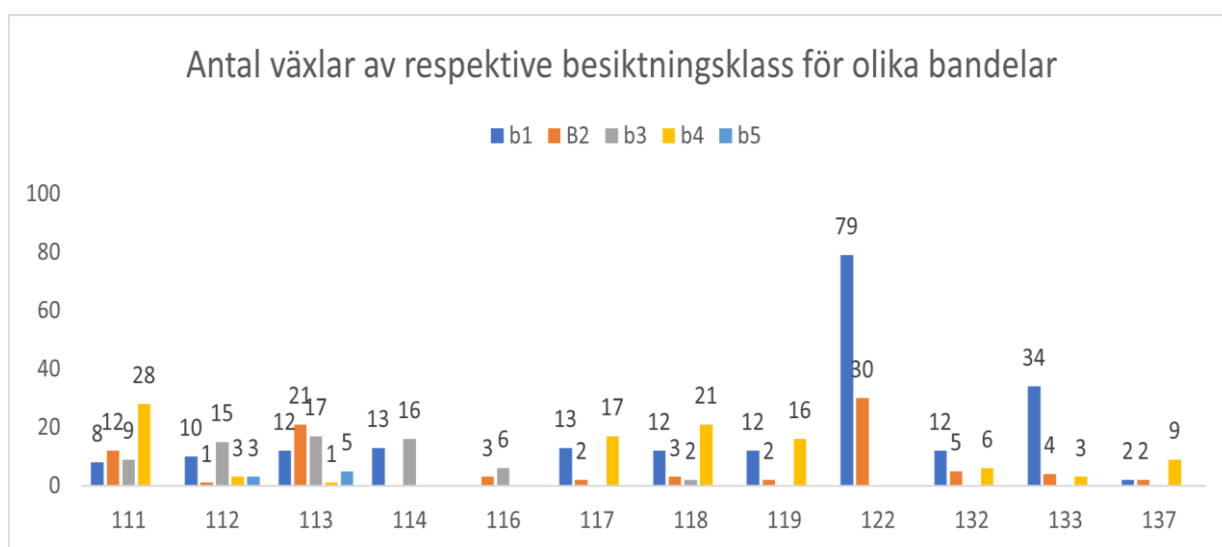
5. RESULTAT

I detta kapitel presenteras resultaten av både kvantitativ och kvalitativdata. Först presenteras resultaten av analysen av data från BIS, felrapporteringsystemet Ofelia och Bessy. Sedan behandlas resultaten från intervjuerna, i samband med detta presenteras också material från dokumentstudien vilket ger ytterligare insikter och stöd till de uppgifter och teman som har framkommit i intervjuerna.

5.1 Kvantitativ data

5.1.1 Databas: BIS

Enligt Figur 8 uppges antal växlar och vilka besiktningsklasser som förekommer i de olika bandelarna. Detta i sin tur förklarar vilken typ av trafik som framgår på Malmbanan och Haparandabanan. Dock förekommer inte bandel 120 i resultatet.

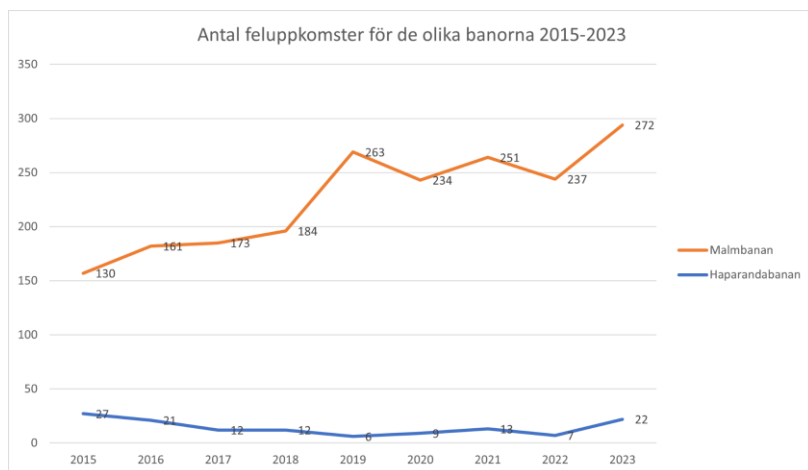


Figur 8. Antal växlar av respektive besiktningsklass för olika bandelar

5.1.2 Databas: Ofelia

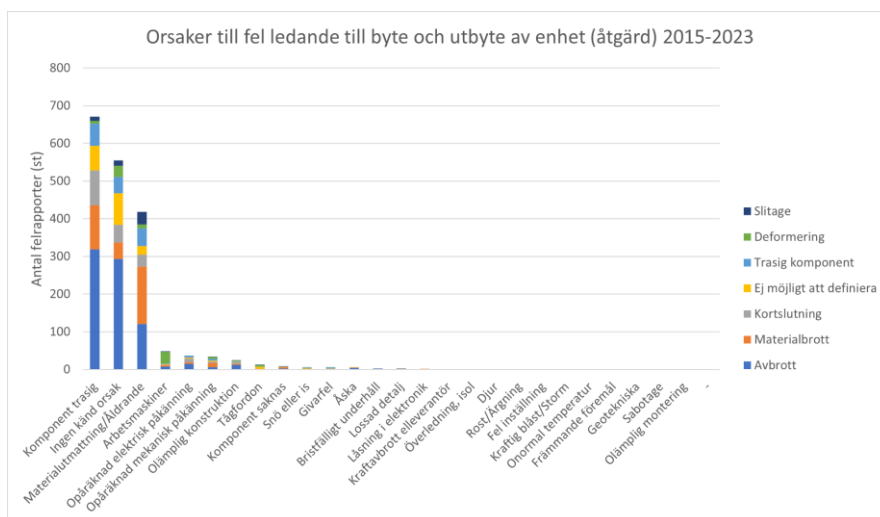
5.1.2.1 Malmbanan och Haparandabanan

I tidserie-diagrammet nedan (Figur 9) illustrerar antal inrapporterade fel(y-axeln) som hanterades via underhållsåtgärden *Byte* samt *Utbyte av enhet*, under perioden 2015 till 2023, för både Malmbanan och Haparandabanan. Figuren visar att samtliga inrapporterade fel per år är högre på Malmbanan jämfört med Haparandabanan.



Figur 9. Antal feluppkomster för de olika banorna 2015–2023

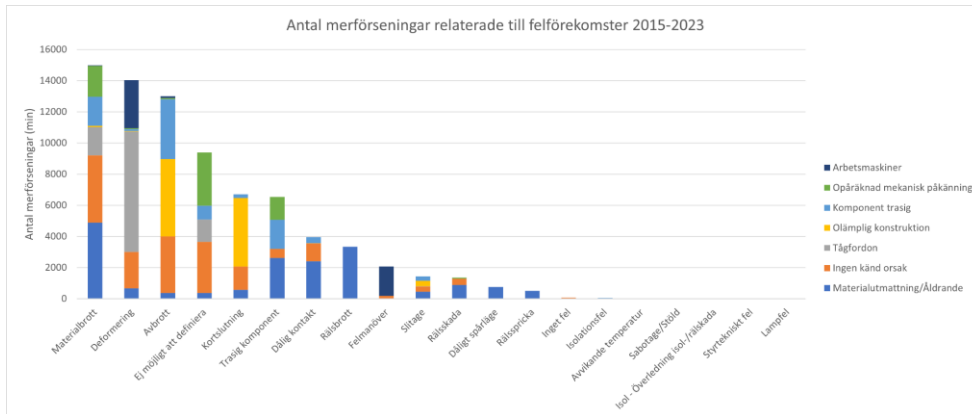
I stapeldiagrammet nedan (Figur 10) visas felorsaker(x-axeln) och antal inrapporterade fel(y-axeln) som hanterades via underhållsätgärden *Byte* samt *Utbyte av enhet*, under perioden 2015 till 2023, för både Malmbanan och Haparandabanan. De tre dominerande felorsakerna inkluderar *Komponent trasig* 650 stycken fall, *ingen känd orsak* (> 500 stycken) och *Materialutmaning/åldrande* (> 400) De återstående orsakerna förekommer färre än 100 gånger bland de inrapporterade felen. Inom respektive stapel för felorsaker detaljeras även specifikt fel. Dessa fel är illustrerade med olika färger, där andelen av felen motsvarar mängden i respektive stapel (felorsaker). De två mest frekventa felen definieras som *Avbrott* och *Materialbrott*, därefter följer, i avtagande frekvens, *Kortslutning*, *Trasig komponent*, *Slitage*, *Deformering* samt fel som är *Ej möjligt att definiera*.



Figur 10. Orsaker till fel ledande till byte och utbyte av enhet(åtgärd) 2015-2023

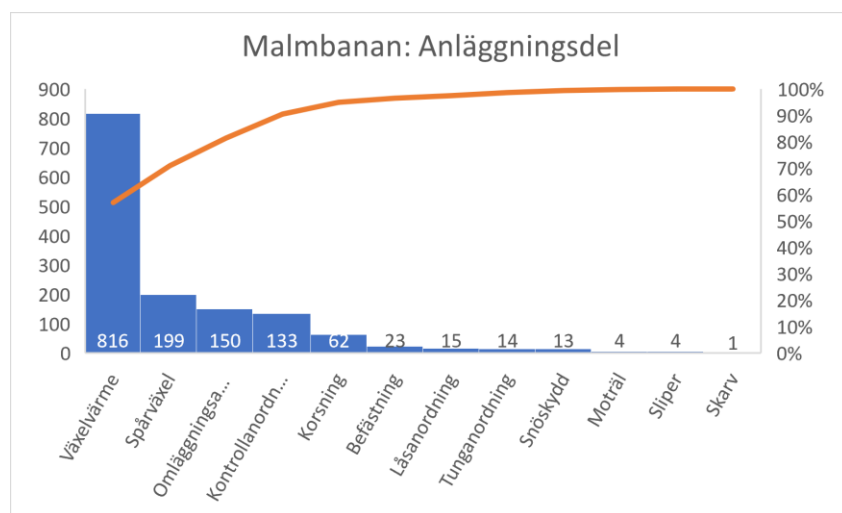
För felförekomster kopplat till merförseningar, stapeldiagrammet(se Figur 11) visar *Materialbrott*, *Deformering* och *avbrott* som de tre största kategorierna av fel, som var och en

motsvarar över 10000 minuter av merförseningar. De vanligaste orsakerna till fel för dessa tre varierar.



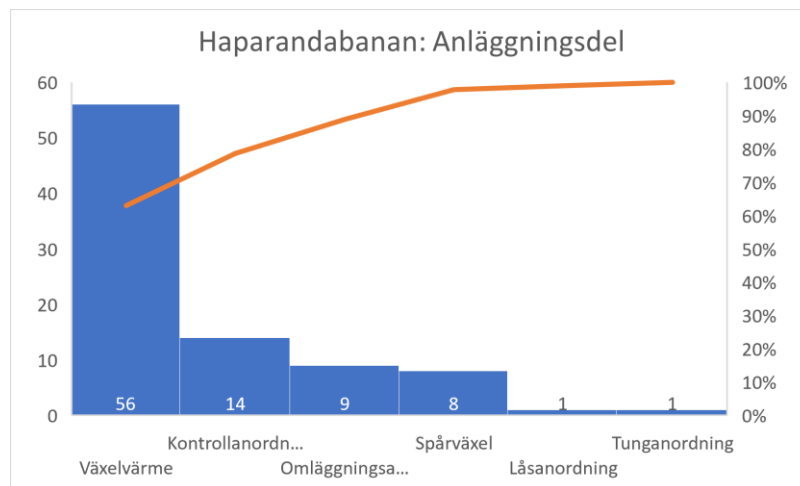
Figur 11. Pivotdiagram av antal merförseningar relaterade till felförekomster 2015-2023

Vid undersökning av vilka anläggningsdelar som utsätts för flest antal felrapporter (y-axeln) på Malmbanan från år 2015 till 2023, uppger Paretdiagrammet nedan (se Figur 12) *Växelvärme* som mest frekvent drabbade med 816 fall. *Spårväxel* följer därefter med 199 fall, som tillsammans med växelvärme utgör 80% av inrapporterade fel. Därefter kommer *Omlägningsanordning*, *Kontrollanordning* och *Korsning* med över 50 fall vardera, medan de resterande anläggningsdelarna har färre än 25 stycken inrapporterade fel.



Figur 12. Paretdiagram av felrapporteringar för olika anläggningsdelar på Malmbanan.

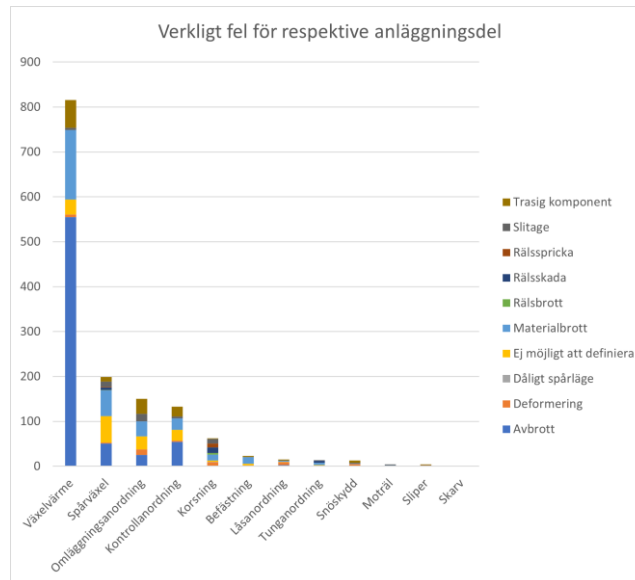
Paretodigrammet för anläggningsdelar på Haparandabanan visar att *Växelvärme* (56 fall) tillsammans med *Kontrollanordning* (14 fall) står för 80% av felen på anläggningen. Efter dessa finns det nio inträffade fel för *Omläggningsanordning* och åtta för *Spårväxel*. I Figur 13 framgår det också att summan av felrapporter från de angivna anläggningsdelarna understiger 100 observationer av den totala summan av felförekomster.



Figur 13. Paretodigram av felrapporteringar för olika anläggningsdelar på Haparandabanan.

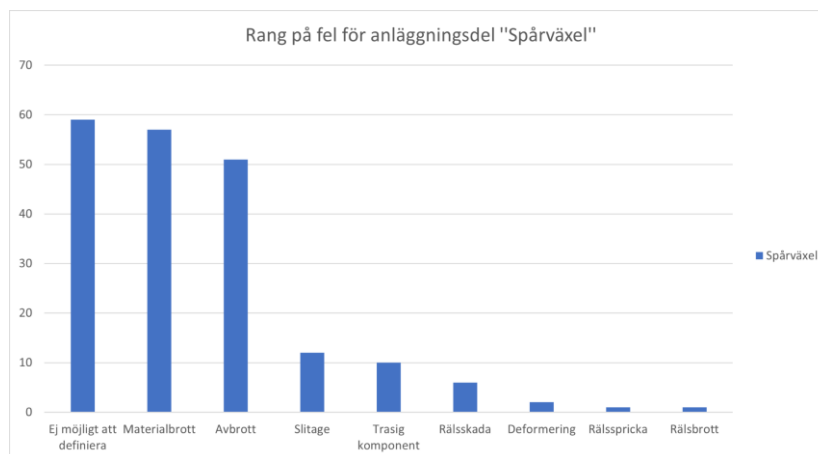
5.1.2.2 Fortsatt analys av Malmbanan i Ofelia databas

Pivotdiagrammet nedan (se Figur 14) visar de olika anläggningsdelarna på Malmbanan och de fel som de drabbades av under perioden 2015 till 2023. De markanta typer av fel som visas med hjälp av olika färger enligt figuren är *Trasig komponent* (brunt), *Materialbrott* (ljusblått), *Avbrott* (mörkblått) och *Ej möjligt att definiera* (gult). Vidare kan det påpekas att det majoriteten av fel som drabbar växelvärme rapporteras som avbrottsfel (över 500 fall). På andra plats återfinns Materialbrott (över 150 fall) som den näst frekventa typen av förekommande fel. Bland annat kommer därefter *Trasiga komponent* och de fel som är *Ej möjligt att definiera*. Dessa fyra ovan nämnda felkategorier är även aktuella i andra anläggningsdelar (tillsammans med det som kallas för *Spårväxel*) som *Omläggningsanordning*, *Kontrollanordning* och *Korsning*.



Figur 14. Pivotdiagram som visar anläggningsdelar och vilka typer av fel de drabbas av.

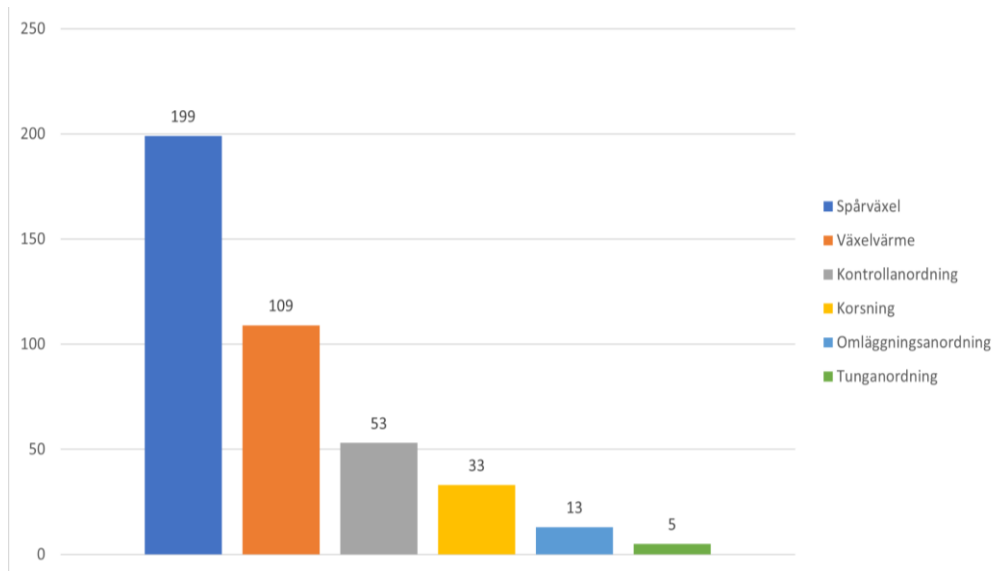
Vidare framställdes ett stapeldiagram för anläggningsdelen *Spårväxel* som tillämpas vid felrapportering i datasystemet Ofelia. Figur 15 nedan visar rangordningen på olika fel som uppkommer för *spårväxel*. De tre främsta är; fel *Ej möjligt att definiera* samt fel relaterade till *Materialbrott* och *Avbrott*. De övriga felen är relaterade till *Slitage*, *Trasiga komponenter*, *Deformering* och olika rälfel. Då begreppet “*Spårväxel*” används på de två anläggningsnivåerna anläggningstyp och anläggningsdel, innebär det att övriga anläggningsdelar inom anläggningstypen *Spårväxel* blir ospecificerade. Det indikerar en möjlighet att förbättra kvaliteten på felrapportering genom att detaljera två ytterligare nivåer av anläggningsstrukturen (anläggningsdel och komponent) för anläggningstypen *spårväxel*.



Figur 15. Stapeldiagram av antal merförseningar (min) av ospecificerade anläggningsdelar inom *Spårväxel*.

Figur 16 visar resultatet av antalet ospecificerade anläggningsdelar, dvs. då *Spårväxel* använts både som anläggningstyp och anläggningsdel. I de analyserade fallen då *Spårväxel* används som anläggningstyp och anläggningsdel saknas information om anläggningsnivån komponent.

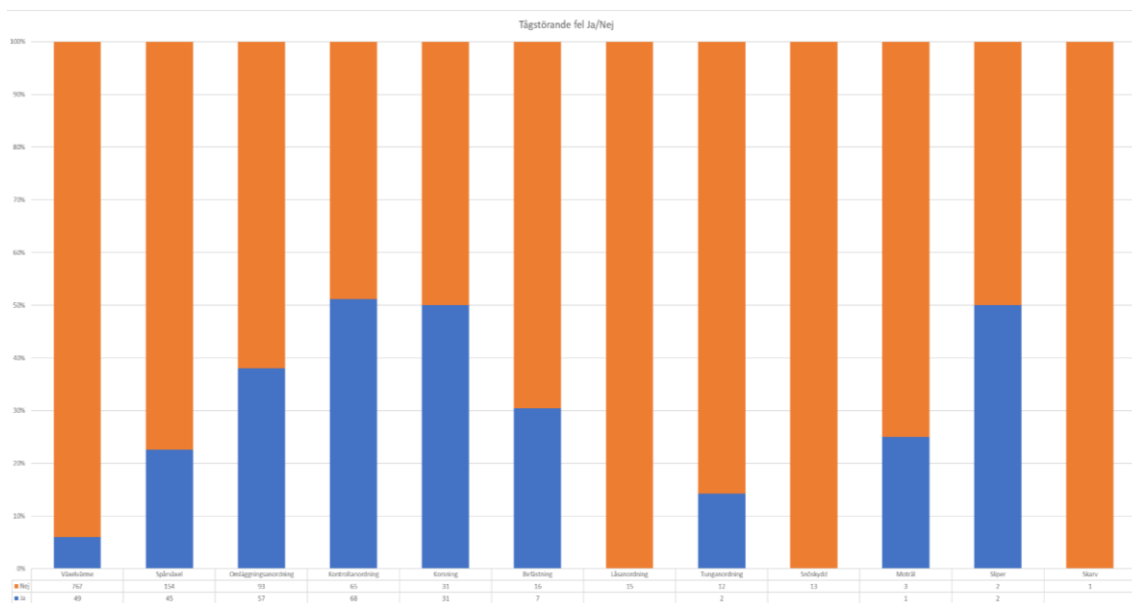
För anläggningsdelen *Växelvärme* är det över 100 fall som inte har specificerade komponenter, för *Kontrollanordning* 53, för *Korsning* 33, för *Omläggingsanordning* 13 rapporter, och slutligen *Tunganordning* med fem fall av inrapporterade fel. Ospecifierade komponenter och anläggningsdelar för anläggningstypen Spårväxeln anger möjlighet att förbättra kvaliteten på felrapporteringen ytterligare två nivåer av anläggningsstrukturen.



Figur 16. Ospecifierade komponenter.

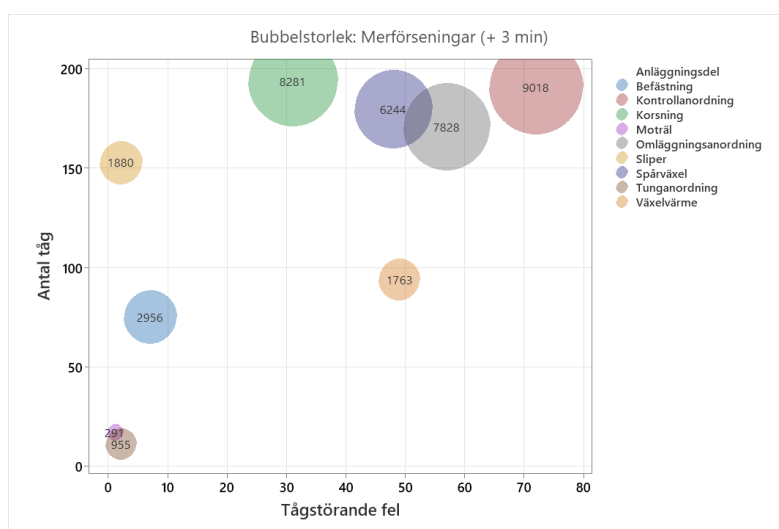
5.1.2.3 Konsekvensanalys för Malmbanan

Nedan presenteras ett stapeldiagram (se Figur 17) sammankopplat med en tabell som illustrerar de anläggningsdelar(x-axeln) som utgör flest antal tågstörande fel med den orangea färgen som *Nej* för icke tågstörande fel och den blåa färgen indikerar *Ja* för det motsatta. Dessutom återges den procentuella andelen(y-axeln) av fel som klassificeras som *Ja* och *Nej*. Stapeldiagrammet visar att för *Växelvärme*, den procentuella andelen för tågstörande fel understiger 10% av det totala antalet inträffade fel, med 767 är *Nej* och 49 är *Ja*. Därefter framgår det att för *Omläggingsannordning* ligger andelen över 35 % för tågstörande fel medan *Kontrollanordning* och *Korsning* ligger kring 50% och *Befästning* strax över 30% . Sliper har en andel på 50%, varav totalt fyra rapporterade fel för denna anläggningsdel. För *Låsanordning* och *Snöskydd* förekommer det inga fall av tågstörande fel.

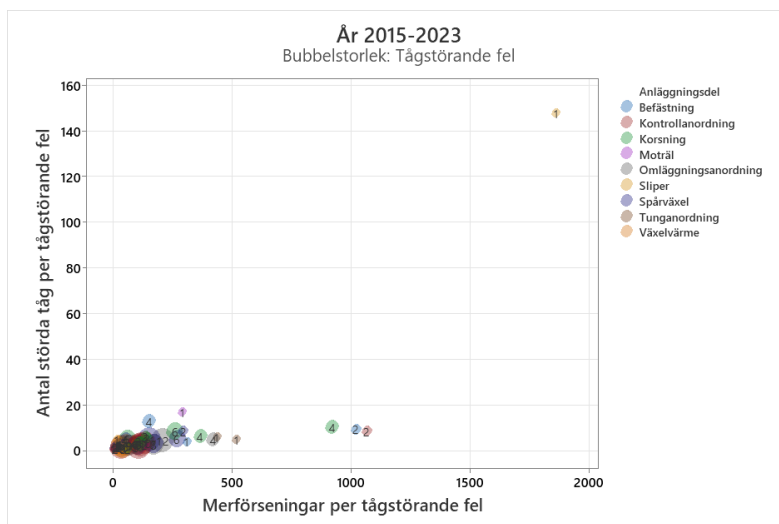


Figur 17. Anläggningsdelar med fel som orsakar tågstörningar

Figur 18 visar sambandet mellan antal tåg (Y-axeln), antal tågstörande fel (X-axeln) och merförseningar i minuter (bubbelstorlek) för respektive anläggningsdelar (olika färger) över alla perioder (2015–2023) sammanlagt. De fyra största i termer av bubbelstorlek (antal merförseningar i minuter) är kontrollanordning (över 9000 minuter), korsning (över 8200 minuter), Omlägningsanordning (över 7800 minuter) och Spårväxel (över 6200 minuter). Därefter följer befästning, Sliper, växelvärm, Moträl och Tunganordning, som separat understiger 3000 minuter, vilket motsvarar 50 timmar av merförseningar. När det gäller antalet av driftstörningar i form av antal störda tåg, belyser diagrammet att förutom de största tidigare nämnda anläggningsdelarna, överskrider sliper 150 stycken antal tåg. Anläggningsdelen växelvärm har 100 antal för antal tåg och strax under 50 av inrapporterade fall.



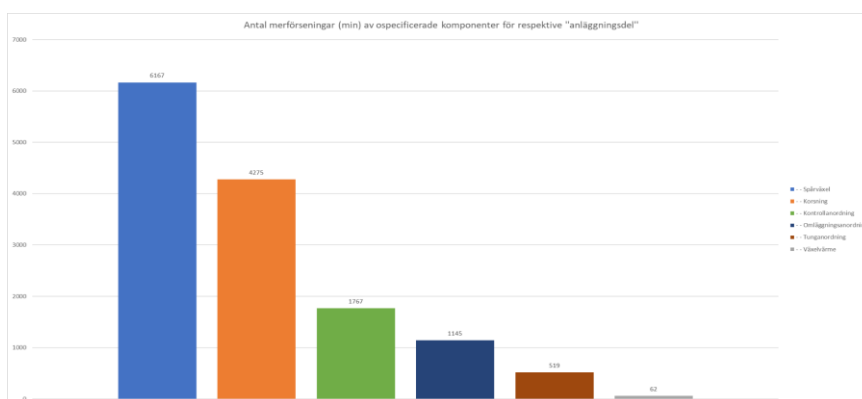
Figur 18. Sambandsdiagram med bubbelstorlek som representerar merförseningar



Figur 20. Sambandiagram som visar konsekvens per inrapporterade fel för respektive anläggningsdel

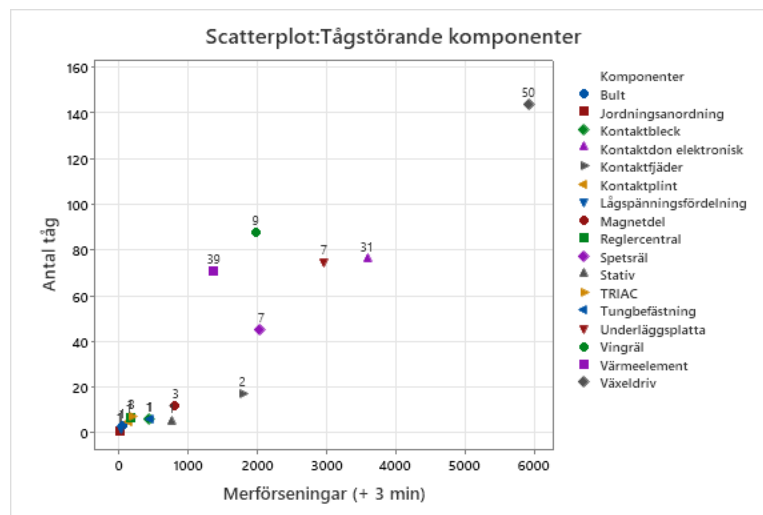
Förutom sliper och befästning, består de andra anläggningsdelar av anläggningsdelsspecifika komponenter. Ett exempel på det är speträl och vingräl som kategoriseras som korsning. Av denna anledning har det upprättats ett bubbeldiagram och sambandsdiagram på komponentnivå.

Vid undersökning av de specifika komponenter som leder till störda tåg och merförseningar, finns det även komponenter som inte har blivit specificerade för de respektive anläggningsdelarna. När det gäller antal merförseningar på grund av ospecificerade komponenter i de respektive anläggningsdelar visar figur 21 att spårväxlar dominerar. Strax därefter följer komponenter från korsning med orsakande av 4275 minuter av merförseningar, följt av *kontrollanordning* med 1767 minuter, *omläggning* med 1145 minuter, *tunganordning* med 519 och sist slutligen *växelvärme* med 62 minuter. Ospecificerade komponenter för anläggningsdelar anger möjlighet att förbättra kvaliteten på felrapporteringen ytterligare en nivå av anläggningsstrukturen.



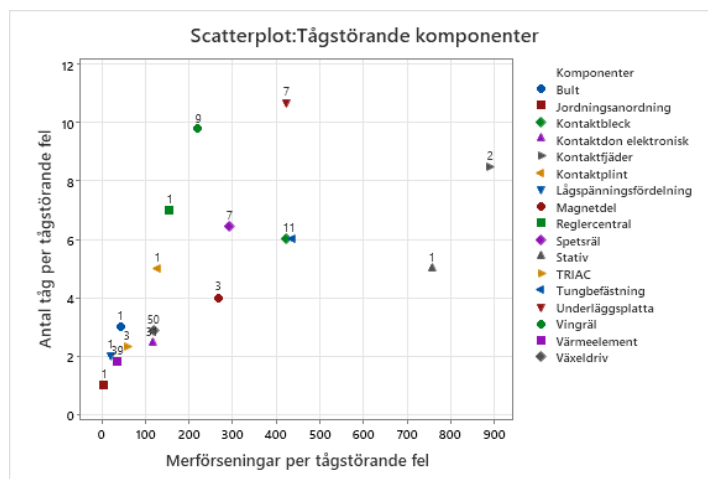
Figur 21. Stapeldiagram av antal merförseningar (min) av ospecificerade komponenter för respektive anläggningsdel.

För konsekvensanalys av enbart specificerade komponenter (med undantag för sliper och befästning) presenteras ett scatterplot-diagram. I diagrammet visas komponenter som illustreras med olika geometriska figurer i olika färger, där respektive siffra indikerar antal inrapporterade fel över alla perioder (2015–2023) sammanlagt. Växeldriv är den ledande komponenten när det kommer till flest antal tågstörningar, med över 140 störda tåg och strax under 6000 minuters merförsening. Därefter följer andra utmärkande komponenter; spetsräl (roterad fyrkant i lila), underläggsplatta (roterad triangel i rött), vingräl (cirkel i grönt), värmeelement (fyrkant i lila) och elektroniskt kontaktdon (triangel i lila). Dessa ligger mellan intervallet 40 till 100 när det gäller antal störda tåg och mellan 1000 och 4000 när det gäller merförseningar i minuter. Av dessa fem anses växelvärmeelement och elektroniskt kontaktdon vara de största i termer av inrapporterade fel, med 39 respektive 31 fall. För de återstående komponenterna, vingräl har 9 fall, medan både underläggsplatta och spetsräl har 7 fall vardera. Se Figur 22.



Figur 22. Sambandsdiagram för tågstörande komponenter över alla perioder.

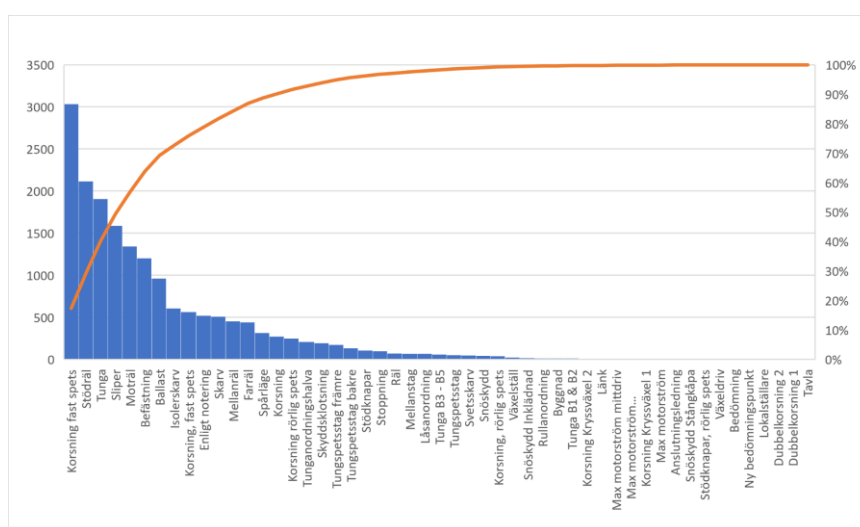
När det gäller antalet störda tåg per fel (Y-axeln) och merförseningar per fel (X-axeln) över alla år (2015-2023) sammanlagt, visar Figur 23 att underläggsplattor (nedvänd triangel i rött) dominerar med cirka 11 störda tåg per fel, medan kontaktfjädrar(roterad triangel i grått) har den högsta kvoten för merförseningar per fel med cirka 880 måttenheter. Det framgår i grafen att växeldriv har lägre kvoter, vilket kan förklaras av det höga antalet inrapporterade fel för den komponenten; dessa antal fel används som nämnare vid beräkningen av måttenheterna. Andra märkvärdiga komponenter som erhåller flera än en inrapporterade fel är vingräl, magnetdel, spetsräl; som tenderar gå mer åt att orsaka tågstörande fel än merförseningar.



Figur 23. Sambandsdiagram på komponentnivå som visar konsekvens per enhet (påverkade tåg per fel samt merförseningar per fel).

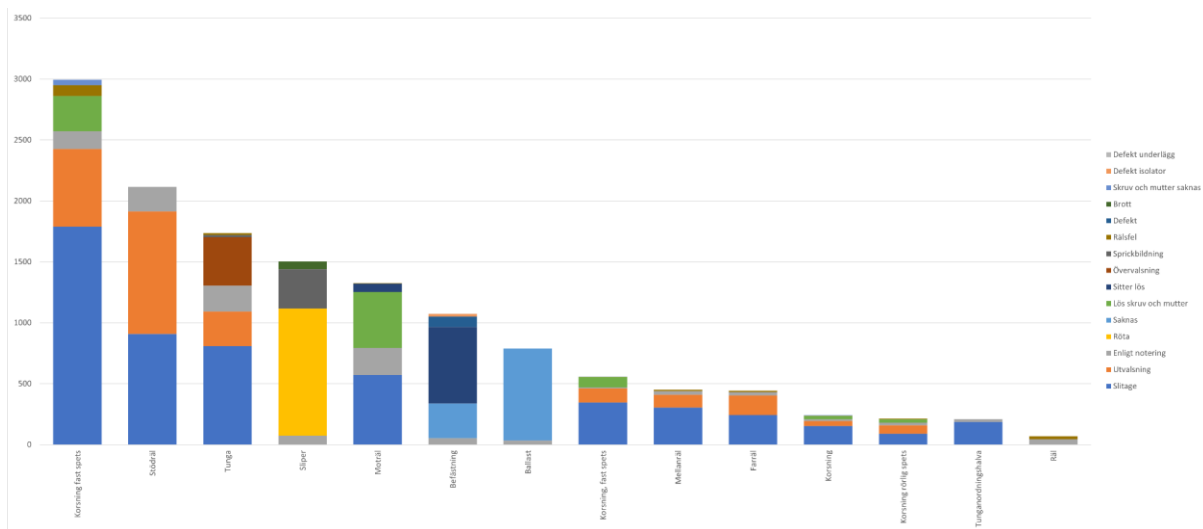
5.1.3 Databas: Bessy

Pareto-diagrammet nedan (se Figur 24) visar antalet av anmärkningar som framkommer från samtliga bandelarna sammanlagt. Noterbart är det en kombination av underhållsbeskinsanmärkingar samt säkerhetsbesiktninganmärkningar. Enheter som utgör ungefär 80% av anmärkningarna är *Korsning fast spets*, *Stödräl*, *Tunga*, *Sliper*, *Motärl*, *Befästning*, *Ballast*, *Isoskarv* samt *enligt notering*. Ca 20% av anmärkningarna kommer från enheter som *Skarv*, *Mellanräl*, *Faräl*, *Spårläge*, *korsning*, *korsning rörlig spets* m.m. Noterbart är några av samma enheter med olika benämningar. Därmed tas några av dessa med i andra delar i analysen.



Figur 24. Pareto diagram som visar anläggningsdelar med flest antal besiktninganmärkningar från år 2010–2020.

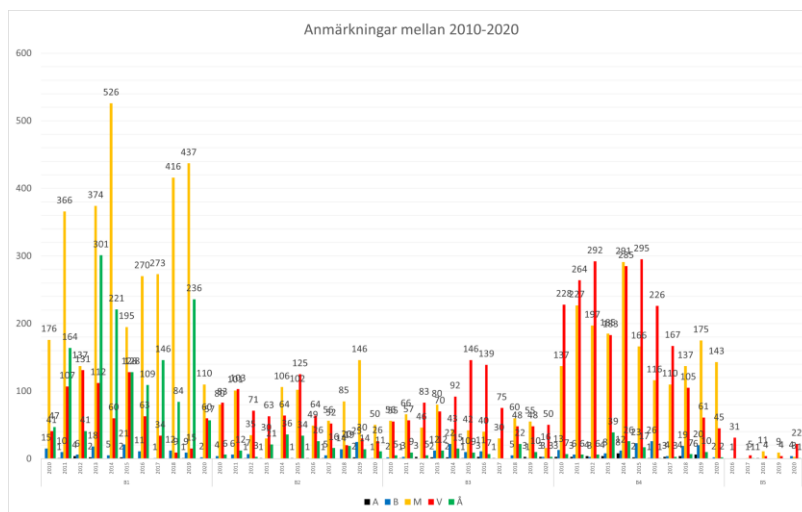
För orsaker av anmärkningar valdes tonnage mått. I pivot-diagrammet nedan utmärks *Slitage* i blå färg och *Utvälsning* i oranget färg, som de frekventa typerna av orsaker till besiktningens anmärkningar. Bland annat förekommer; *Enligt notering* (i grått), *skruv och mutter* (i ljusgrönt) som också är allmänt förekommande för olika typer av räl. Fortsättningsvis visar figuren ett samband mellan de olika korsningarna, räl (faräl och mellanräl) och moträl. Dessa har tendens att uppvisa anmärkningar relaterade till såsom slitage, lösa skruv och mutter och utvälsning. För enheter som *Tunga* förekommer även anmärkningar av övervälsning. När det gäller *Sliper*, de största delar av anmärkningar betecknas som röta (i gul färg) och *sprickbildning*. För befästning, bedöms flesta som *Sitter lös* (i mörkblått) och *Saknas* (i ljusblått). Se Figur 25.



Figur 25 Anläggningsdelar med besiktningens anmärkningar och orsaker till dessa anmärkningar.

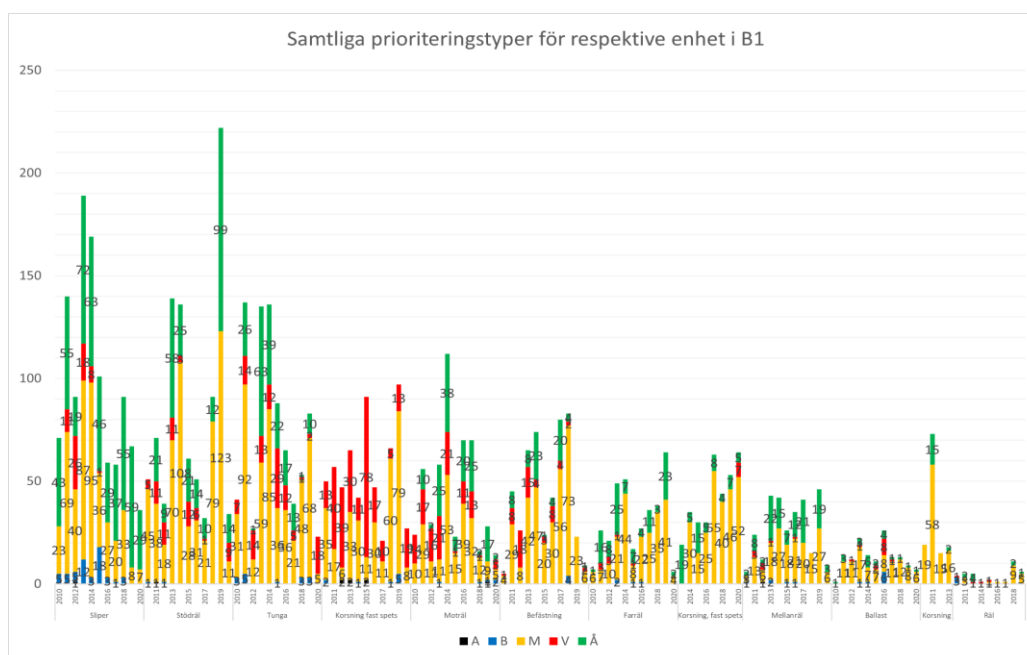
I Figur 26 presenteras en tidslinje för perioden 2010 till 2020 för respektive besiktningens klass (B1-B5) och frekvensen på de olika anmärkningarna per år. Här representeras akuta anmärkningar av staplar i svart (A), veckoanmärkningar i rött (V), månadsanmärkningar i gult (M), årsanmärkningar i grönt (Å) och anmärkningar för nästa besiktningstillfälle i blått (B). Mer detaljerat kräver akuta anmärkningar omedelbar åtgärd, medan veckoanmärkningar måste åtgärdas inom en period av tre veckor. Månadsanmärkningar åtgärdas inom tre månader och årsanmärkningar kräver åtgärd inom 3 år. A -och V-anmärkningar åtgärdas med avhjälpande underhållsåtgärder medan anmärkningar som betecknas med M och Å är med förebyggande underhåll.

Följaktligen visar grafen att i besiktningens klass 5 förekommer det markant färre antal anmärkningar i jämförelsen andra besiktningens klasser, både när det gäller typ och antal. Anmärkningar i besiktningens klass 4 består mest av vecko -och månadsanmärkningar. Däremot tenderar V-anmärkningar stiga ner och det motsatta för M-anmärkningar under de senaste åren. Detta mönster förekommer även i mindre magnitud för anläggningsdelar av besiktningens klass 3 och 2. Vidare, besiktningens klass 1 (B1) domineras av månads -och årsanmärkningar.



Figur 26. Typer av anmärkningar som förekommer i de olika besiktningsklasser mellan 2010-2020

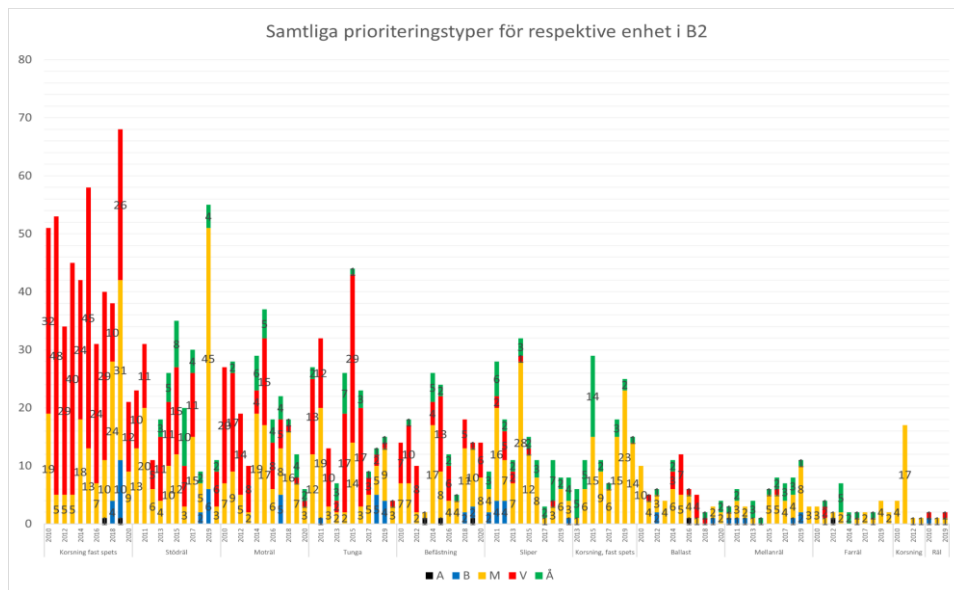
För bandelar med spårväxlar med besiktningsklass 1 (B1) visar Figur 27 de anläggningsdelar med främst anmärkningar är *Sliper*, *Stödräl*, *Tunga* och *Korsning fast spets*. En stor andel av komponenterna uppvisar Å-anmärkningar (i grönt) och M-anmärkningar (gult). Det förekommer fall med V-anmärkningar, dock främst för komponenter som *Tunga* och *Korsning fast spets*.



Figur 27. Samtliga prioriteringstyper (anmärkningar) för respektive enhet i B1

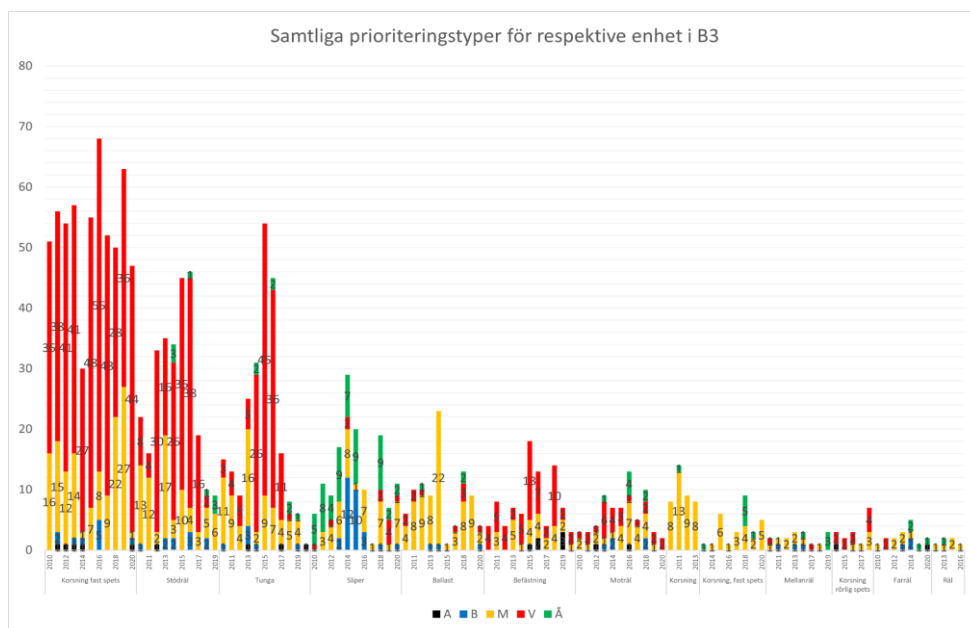
För anläggningspunkter med besiktningsklass 2 påvisar Figur 28 att de fyra främst förekommande anläggningsdelar är *Korsning med fast spets*, *Stödräl*, *Moträk* och *Tunga*. Noterbart är här att V-anmärkningar allmänt förekommande tillsammans med M-

anmärkningar. Å-anmärkningar är till större grad mer aktuellt för de resterande komponenter som uppvisas längst x-axeln.



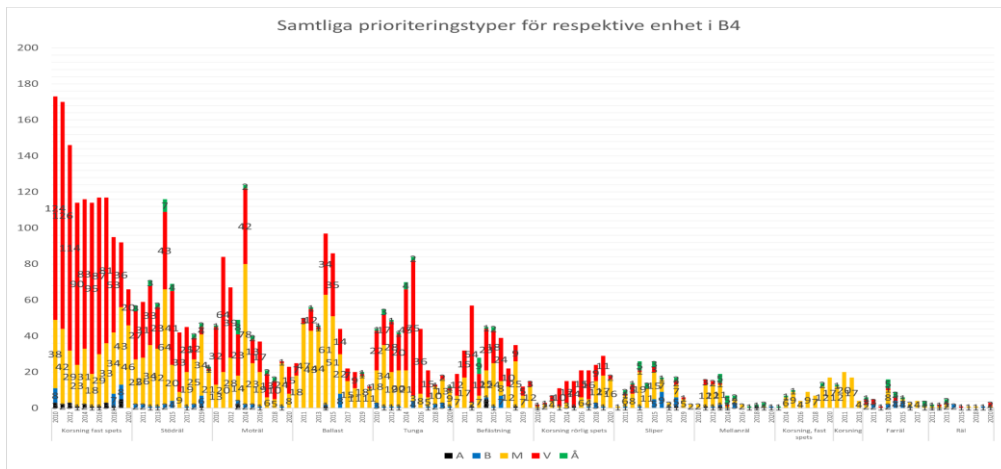
Figur 28. Samtliga prioriteringar typer (anmärkningar) för respektive enhet i B2

För besiktningsklass 3 visar figuren nedan att de fyra mest förekommande anläggningsdelarna med anmärkningar är *Korsning med fast spets*, *Stödräl*, *Tunga* och *Sliper*. Figur 29 visar också att en stor andel av anmärkningarna är V- och M-anmärkningar. Trots detta visar grafen att antalet anmärkningar för respektive enhet tenderar att minska över tid.



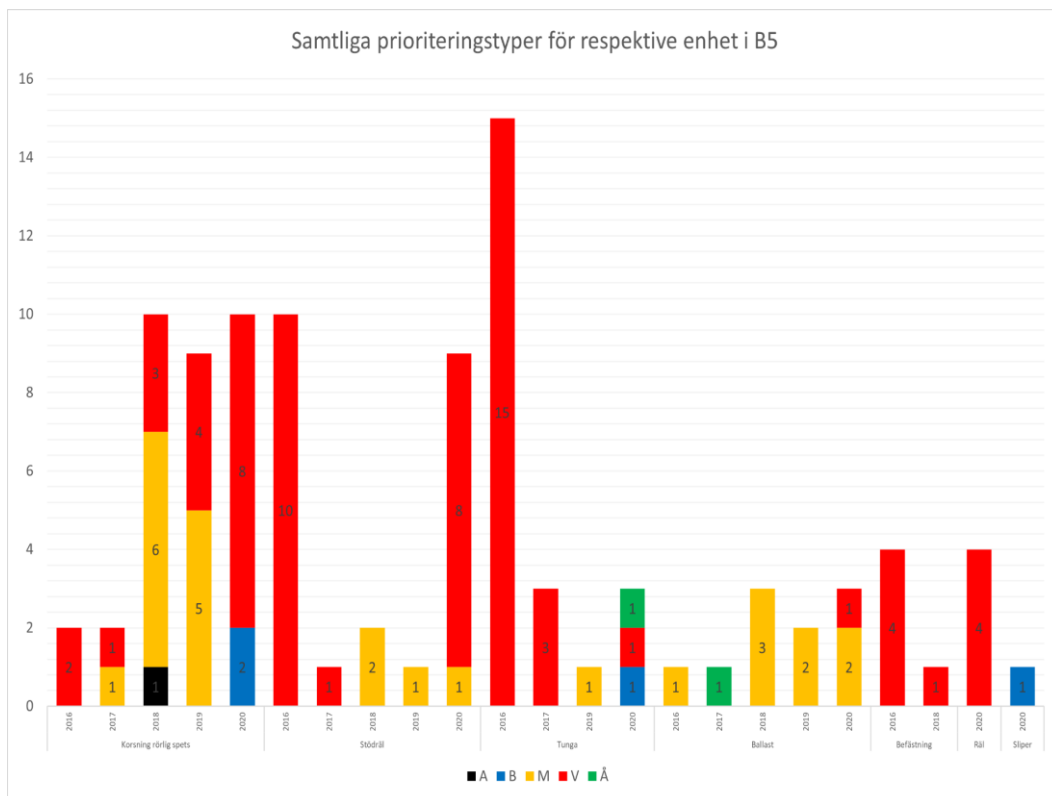
Figur 29. Samtliga prioriteringar typer (anmärkningar) för respektive enhet i B3

För besiktningsklass 4 framgår det av Figur 30 att de fyra dominerande anläggningsdelarna med anmärkningar är Korsning med fast spets, *Stödräl*, *Moträl* och *Ballast*. Likt det som tidigare noterats för besiktningsklass 3, visar grafen att V- och M-anmärkningar är de mest frekvent förekommande i spärväxlar inom denna besiktningsklass.



Figur 30. Samtliga prioriteringar typer (anmärkningar) för respektive enhet i B4

Figur 31 visar att i Besiktningsklass 5 V-anmärkningar är de mest dominerande. Noterbart uppvisar grafen att antal anmärkningar är längre till skillnad från föregående grafer.



Figur 31. Samtliga prioriteringar typer (anmärkningar) för respektive enhet i B5

5.2 Resultat från intervjuer och dokumentstudie

5.2.1 Driftstörningar

Vid frågorna om potentiella orsaker till driftstörningar på spårväxelanläggningen betonar både UH 1 och UH 2 vikten av att förstå de utmaningar som väderförhållanden kan medföra. UH 2 uttrycker problemen, särskilt relaterade till snö och is och hur dessa kan påverka omläggningsanordningen och rörliga korsningar. Det framkommer även att svårigheter kan vara särskilt påtagligt på Malmbanan under vintermånaderna. Både UH 1 och UH 2 delar insikter att svåra väderförhållanden, speciellt i norra regioner, vintrar är långa och kalla, vilket kan försvåra underhållsarbetet och reparationssatser på växlar. Ett exempel som U21 nämnde var svetsning inte är möjligt vid mycket låga temperaturer, vilket kan leda till förlängda driftstörningar om problemen inte kan lösas i tid.

5.2.2 Prioriteringsgrunder

5.2.2.1 Besiktningsskylar och växeltyper

UH 1 och UH 2 är enade om att prioriteringsgrunder styrs av besiktningsskylaren som utgörs av trafikmängden, hastigheten och tonnage.

Enligt UH 1 är det viktigt att prioritera växlar baserat på den mängd trafik de hanterar och den hastighet som tågen kör med. I detta sammanhang tillägger UH 2 vikten av att alla typer av tåg kan röra sig smidigt och att hänsyn måste tas till både tunga malmtåg och lättare person- eller godståg när underhållsarbete planeras. De påpekar att trafikflödet bör beaktas för att prioritera växlar, så att även om person- eller lättare godståg är mer frekventa, bör de inte prioriteras bort helt.

När det kommer till de individuella spårväxlarna påpekar UH 2 vikten av att granska åldern och typen av spårväxlar. Enligt respondenten är det viktigt att överväga åldern på växeln och dess specifika typ, eftersom vissa typer av växlar har en högre benägenhet att orsaka driftstörningar än andra. För äldre växlar kan det vara nödvändigt att prioritera underhåll för att säkerställa deras korrekta funktion.

5.2.2.2 Kritiska komponenter

Vidare, beträffande kritiska komponenter, betonar UH 1 och UH 2 att vissa komponenter inom anläggningen är mer kritiska än andra. Enligt UH 1, är det rörliga korsningar, särskilt de som är placerade i kurvor. Detta beror på att dessa komponenter kan vara unika i sin utformning och kräva längre leveranstider upp till ett år. UH 1 menar här att unika konstruerade komponenter kan potentiellt orsaka problem, vilket understryker behovet av att ha reservdelar nära till hands. Förutom komponenternas konstruktion är det också av vikt att beakta platsen där den är monterad. Ett exempel på det är bristfällig underbyggnad som kan resultera i en accelererad nedbrytning av materialet.

“Det är inte alla växlare som ligger i kurvan med rörligkorsning [...], men det är lite på hur den är byggd. Det skapar problem, då måste man ju se till att man har en extra reservdel i närheten.[...]Unika konstruktioner[...]Sen också om det är byggt på ett ställe som är [...] dålig underbyggnad kan det också göra så att materialet går sönder snabbt.”-UH 1

Utöver korsningen, UH 2 framhäver också att växeldriv och tunghalvor som kritiska komponenter för att systemet ska vara i funktion.

“[...]man har identifierat dem lite grovt och sagt att det är korsningar, tunghalvor, växeldrivare är de komponenter som vi oftast har problem med så där ligger man ju med reservdelslager lite mer lokalt[...]” -UH 2

För kritiska komponenter som kräver förebyggande underhåll genomförs extra underhållsinsatser under vintern, med entreprenörer som regelbundet inspekterar korsningar med högbelastning. Genom att snabbt åtgärda små defekter i korsningar har de sett en förbättring i driftsäkerheten för trasiga korsningar. Trots detta kan det fortfarande uppstå totalhaverier i korsningar, vilket kan kräva utbyte eller reparation med påföljande trafikstopp. Dessutom nämnde UH 2 att de har ökat inspektionsfrekvensen för växlarna till sex gånger per år i normalhuvudspår, vilket möjliggör tidig upptäckt av fel innan de blir allvarliga.

“Det är ju att ha mera kontroller och försöka hitta felen medan de är relativt små och det krävs kanske en ganska kort tid för underhållsinsatser.” -UH 2

Vid frågan om olika typer av räl anses som en av kritiska komponenter, påstod UH 2 slitaget exempelvis på moträler övervakas noggrant vid besiktning, därför är det sällan akut att genomföra möträlsbyte, om inte det har skett på grund av en yttre påverkan, såsom en kollision med traktor eller en urspårning av lok. Komponenter som mellanräler och farräler i växlarna betraktas som enklare komponenter, då de utgörs av vanliga räl som kan användas som reservdelar i princip vilken växel av samma modell som helst. Dessa komponenter anses inte vara lika kritiska som tunghalvor, korsningar, vilka är mer specifika för vissa växeltyper.

“Den blir inte lika kritisk just den komponenten som innehåller en vanlig räl. För vanlig räl har vi ju överallt skulle jag vilja säga som som reservdel för att den reservdelen[...]” - UH 2

5.2.3 Kriterier för underhållsåtgärd (specifikt komponentbyte)

5.2.3.1 Parametrar(komponentbyte)

Vid frågor om kriterier för komponentutbyte nämns slitage och skadebild som de viktigaste parametrarna. Slitage mäts i höjd- och sidoslitage, medan skadebildningen omfattar sprickor och materialbortfall. Planeringen för komponentbyten inleds cirka 6–7 månader innan utbytet, och komponenter beställs vanligtvis i början av året. Under förebyggande underhåll byts ofta hela spårväxeln, med fokus på växeltyp, tonnage och teknisk livslängd.

5.2.3.2 Resurser(komponentbyte)

Resurskraven för åtgärder varierar beroende på platsens tillgänglighet och komponentens storlek. Större bangårdar kan kräva spårgående fordon, medan enklare spår nås med vanliga arbetsfordon. Byte av långa komponenter kräver traktorer eller spårgående grävmaskiner, medan mindre komponenter kan bytas med en enda maskin. Ett team på tre personer, inklusive två svetsare, är optimalt vid komponentbyten.

Underhållsåtgärder kan rangordnas baserat på tid, kostnad, kompetens och tillgängliga resurser:

- Tunghalvor: Mest tidskrävande och kostsamma, kräver flera maskiner och hög kompetens.
- Korsningar: Dyra och tidskrävande, men något mindre än tunghalvor.
- Moträler: Relativt enkla och snabba att byta, kräver låg till medelhög kompetens.
- Mellanräler och farräler: Mellan moträler och tunghalvor/korsningar i kostnad och tid.
- Ballast, befästning och sliper: Ballastbyte är komplicerat och kostsamt. Befästning byts sällan helt, ofta delvis vid andra byten. Sliperbyten är resurskrävande och tidskrävande, särskilt vid träväxlar med kortare livslängd på sliparna.

Därmed kräver komponentbyten i spårväxlar en noggrann bedömning av platsens tillgänglighet, komponenternas storlek och entreprenörens tillgångar. Något som också påpekas av respondenterna är också att optimalt utnyttjande av arbetsstyrkan och specialiserade verktyg är avgörande för att genomföra bytena effektivt och säkert.

5.2.3.3 Parametrar för uppföljning och utvärdering av underhåll(komponentbyte)

UH 1 och UH 2 betonar vikten av att ta hänsyn till flera parametrar och mätvärden när man bedömer växlarnas tillstånd. Slitage och olika mätpunkter är avgörande vid säkerhetsbesiktningar, där man bland annat mäter spårviddsmått och det totala spårläget i växeln för att upptäcka avvikelser. UH 2 framhåller också betydelsen av spårled, eftersom även byte av enskilda komponenter kan påverka spårläget och kräva ytterligare underhållsåtgärder, som exempelvis spårriktning. Dessutom poängterar UH 2 att mätvärdena är avgörande för utvärderingen och att en noggrann okulär kontroll samt uppföljning av utfört arbete är viktigt för att säkerställa kvalitet och ordning på arbetsplatsen.

5.2.3.4 Kriterier för spårväxelbyte; återanvändning spårväxelbyte (Hela spårväxlar)

Hedström (2001) diskuterar kriterier för återanvändning av spårväxlar, särskilt vid bangårdsombyggnad. Spårväxeln måste vara i gott skick, passa geometriskt på den nya platsen och ett register över begagnade spårväxlar bör upprättas. Ekonomisk livslängd och underhållskostnader är avgörande, och spårväxlar äldre än 20 år är ofta olönsamma att behålla. Vid spårväxelbyte betonas bangårdsombyggnad och teknisk utslitning som främsta orsaker. Beslutsfattandet baseras på flera faktorer, där toleranskrav är särskilt viktiga. Återanvändning på mindre trafikerade banor kan vara ekonomiskt fördelaktigt men kräver noggranna analyser.

5.2.4 Cirkularitet i Sverige

5.2.4.1 Växelrevision och verkstäder

I de flesta intervjuer nämns att återbruk av material pågick i Sverige redan innan 2000-talet. En del av detta innefattades i processen av de så kallade växelrevisionerna. Under växelrevisionen genomfördes en noggrann granskning av spårväxlar, vilket innefattade att mäta alla mått, kontrollera slitage och justera måtten vid behov. Därefter svetsades bland annat korsningar, och det utbytta materialet togs till en verkstad för revidering och reparation. Under denna process ersattes och kompletterades eventuella delar som inte uppfyllde kraven för återanvändning.

UH 2 förklarar att växelrevisionen innebar att undersöka spårväxlar, mäta alla mått, kontrollera slitage, justera måtten och svetsa korsningar och växeltungor. Detta arbete skedde samtidigt

som nya och begagnade spårväxlar byggdes och monterades till olika projekt. Under vintern reviderades växelkomponenter i en verkstad i Luleå, där gamla komponenter omhändertogs, skador lagades och komponenterna klassificerades efter slitage, ålder och typ. Klassificeringen delades in i revisionsklass 1, 2 eller 3 enligt styrande dokument. Efter klassificeringen placerades komponenterna på lager, och med tiden kunde kompletta växlar sättas ihop i delar och skickas till olika projekt.

EUH 1 beskriver hur processen fungerade tidigare i Luleå:

“[...] alla växlar som togs upp[...] de sorterade om de inte var skrot direkt, men då tog man in och komponenter som var användbara då tog man in dit och så satte man ihop växeln och så kompletterade man genom att beställa de delar som erfordras.” - EUH 1

EUH 2 uttryckte fördelarna med ett sådant system:

“[...] de svetsade på växelkorsningar på vintern så att de hade utbytessystem som man kunde byta in och få ut en ny svetsad slipade del alltså.” - EUH 2

Revidering av spårväxlar och komponenter i verkstäder ansågs också som en vintersysselsättning. UH 2 nämner att det också gjordes en klassificering av varje komponent baserat på slitage, ålder och typ. Det fanns styrande dokument som användes för att bestämma vilken revisionsklass varje komponent skulle tilldelas. Efter klassificeringen placerades komponenterna på lager, och med tiden kunde kompletta växlar plockas ihop i delar och skickas till olika projekt. Under diskussionen med EUH 1 och EUH 2 framkom det att de reviderade växlar och komponenter som bedöms som "godkänt material" används främst på lågtrafikerade och sidospår.

5.2.4.2 Förändringar i verksamheten

Trots fördelarna med denna process lades en av verkstaden som utförde revideringsarbetet ner 2010, vilket ledde till svårigheter att få tag i begagnade reviderade växlar. UH 2 förklarar:

“Det hade ju en hel del med ekonomi att göra, för under perioden från början av 2000-talet till cirka 2007–2008 fick man i princip allt material till skrotvärde. Man betalade i princip bara för frakten till verkstaden och sedan tog vi betalt för det arbete vi lade ner[...].” - UH 2

Processen och revisionverkstaden som var lokaliserad i Luleå möjliggjorde en kontinuerlig försörjning av reviderade växlar och komponenter, men efter verkstadens nedläggning har det blivit svårare att få tag på dessa komponenter. Med detta har växelrevisionen förändrats från att vara en effektiv process till att bli mer utmanande efter nedläggningen av verkstaden i Luleå.

När vinstintresset ökade insåg många att det inte genererades lika mycket vinst som tidigare genom att hålla på med detta arbete. Istället började fler se värdet i att sälja materialet som skrot. EUH 1 påpekar:

“Och bara det här med att projektledare som har jobb varit antingen att bygga om en bangård [...]linje eller vad det är. Att de har ju inte förståelse för att en växel går att återanvända eller att om jag byter en viss komponent.”-EUH 1

Ett av problemen som EUH 1 upplyser är att projektledare ofta inte förstår att växlar kan återanvändas eller att vissa komponenter kan bytas ut. PL förklarar att hanteringen av material specificeras redan i upphandlingen. Respondenten förmodar att entreprenörer ser det som en

inkomstkälla och skickar material för återvinning utan att överväga möjligheten till återanvändning. PL framhåller att detta är ett enormt slöseri med resurser och att många saker skulle kunna återanvändas istället.

I samma diskussion påpekade PL att ett grundläggande problem med materialhanteringen är att ingen specifik person har ansvaret för cirkulariteten i systemet. Även om en person utses till ansvarig, räcker det inte om denne inte har tillräckligt mandat och inte arbetar i nära samarbete med alla andra inblandade parter.

Återbruk av material är svårt att hantera främst på grund av bristande organisation och avsaknad av ett systematiskt arbetssätt. Det finns ingen tydlig ansvarsfördelning för hanteringen av återbrukat material. På distriktsnivå har försök gjorts att återanvända material, men det har ofta berott på enskilda personers initiativ och ansvarstagande snarare än en strukturerad process. För närvarande hanteras överblivet material ofta av entreprenörerna, vilket leder till att andra parter inte tar något ansvar. Denna brist på systematisk hantering och ansvarstagande för överblivet material innebär att det saknas en tydlig och effektiv process.

5.2.4.3 Risker och funktionssäkerhet

UH 1 påpekar risker med återanvändning av material inom järnvägsinfrastrukturen, såsom felaktig montering och skador under transport. Dessa risker kan minimeras genom noggrann kontroll och lämplig hantering av materialet. UH 1 rekommenderar att begagnat material används på sidospår, mötesspår och lågtrafikerade banor för att förlänga materialets livslängd. Dessutom föreslås att det återbrukade materialet matchar åldern på platsen för att minimera riskerna och säkerställa kompatibilitet med befintligt material.

UH 2 nämner att under växelrevisionen genomgick komponenter ultraljudskontroller för att säkerställa funktionssäkerhet. Komponenter som inte klarade kontrollen skrotades eller åtgärdades. UH 2 betonar att återanvända komponenter ska anpassas till den trafiktyp de kommer att utsättas för på den nya platsen, för att undvika överbelastning och ovanligt högt slitage. Funktionssäkerheten kan garanteras genom att placera återanvända komponenter i en miljö som är anpassad för deras trafikvolym och belastning.

Något som även ska beaktas vid komponentbyte är bedömningen som behövs göra utifrån hela växeln. För att en komponent ska passa in anläggningen kan resterande delar bredvid behöva slipas, vilket medför negativ inverkan på spårväxel livslängd, då livslängden på anläggningen kortas ner. EUH 2 uttrycker:

“Det men som på Malmbanan, byter man komponenten, då ska man slipa ofta korsningar, tungor, annars får du övervalsning och så släpper det bitar.”-EUH 2

5.2.4.4 Centrallager, försörjningspunkter och entreprenadlager

För närvarande kan beställning av komponenter för underhåll genomföras på tre nivåer: Trafikverkets Materialservice, försäljningspunkter och entreprenadlager. PL lyfter fram olika strategier beroende på åtgärdens brådskande natur. Vid akuta åtgärder hämtas reservdelar direkt från entreprenadlager eller försörjningspunkter, medan planerade åtgärder kan beställa från materialservice. Beslutet baseras på tidsramen och brådska. PL betonar vikten av att ha tillräckligt med reservdelar för att säkerställa materialförsörjning vid entreprenadsprojekt.

UH 2 förklarar att försörjningspunkterna är upphandlade av ett externt företag som hanterar lagring och transporter. Dessa punkter fungerar som centra för reservdelar. Entreprenadlager, som är en del av försörjningspunkterna, hanterar mindre komponenter som underläggsplattor och befästningar. Entreprenören ansvarar för dessa lager och säkerställer att komponenterna är lättillgängliga. Lokala lager bildas ibland utanför spåren från överblivna komponenter efter underhållsåtgärder.

“Det finns vissa lokala fall där också att man i vissa underhållskontrakt väljer att spara på olika platser i på bangården. Ja, så det förekommer, men är inte strukturerat centralt.”-UH 1

Dessa skickas inte till central lagren efteråt på grund av fraktkostnader utan istället används vid senare tillfälle som beredskapslager, vid urspårning eller rälsbrott. UH 2 lyfter också problemet med dessa lager:

[...]problemet att där vet bara de lokala människorna vad som finns i de lagren.- UH 2

5.2.4.5 Dimensionering av lager

UH 2 beskriver att dimensioneringen av det centrala lagret för räls och växelkomponenter baseras på historiska volymer och prognoser från järnvägsingenjörer för kommande spårbyten och underhållsåtgärder. Prognoserna, som används för att dimensionera lagret, inkluderar även en buffert på 20–30% för att hantera oförutsedda händelser.

För försörjningspunkterna används historiska data för att analysera uttag av komponenter, samt dialog med underhållsdistrikten för att beakta deras behov och förändringar i infrastrukturen. Denna analys och dialog justerar lagervolymer för att säkerställa tillräckliga mängder komponenter.

5.2.4.6 Lagerhantering av reviderade växlar och komponenter innan Trafikverket

EUH 1 beskriver att lagersystemet tidigare innefattade noggrann registrering och hantering av material, inklusive spårväxlar, räls, tungor och korsningar, som lagrades med specifika förrådsnummer. Material som togs ut för användning eller returnerades registrerades noggrant. Reviderade komponenter och reservdelar dokumenterades och bokfördes för att säkerställa uppdaterad och transparent status.

Regelbundna inventeringar höll lagret aktuellt, och material som inte förbrukades returnerades och registrerades som tillgängligt igen. Det fanns även särskilda beredskapslager för militären på strategiska platser som Korsträsk, Lakaträsk och Bastuträsk, innehållande sliper och gamla växlar. Dokumentationen skedde med mikrofilm (mikrofiche) och listor som hölls uppdaterade och tillgängliga för alla.

För återanvändning av spårväxlar och komponenter föreslår UH 2 ett system för att registrera och hålla reda på komponenter, liknande ett system för "bristartiklar", exempelvis en webbutik för att kontrollera lagerstatus. Systemet bör hantera både enskilda komponenter och paket, såsom begagnade tunghalvor, korsningar och moträlér, tillsammans med nya och begagnade rälér.

Logistikprocessen för att plocka ihop en begagnad växel innebär att samla nödvändiga komponenter och rälér, vilket har visat sig vara kostnadseffektivt. En del av planeringsprocessen innebar att identifiera återanvändbara komponenter och bedöma

arbetsinsatsen som krävs. En enkel checklista användes tidigare för att säkerställa att komponenterna uppfyllde mått och slitagekriterier.

UH 2 betonar att planeringen för återanvändning bör börja i god tid, ofta flera månader eller år i förväg, för att säkerställa tillgången till nödvändiga komponenter när de behövs. Detta system var effektivt när Trafikverket både var beställare och entreprenör, vilket underlättade återanvändningen av eget material.

5.2.4.7 Återanvändningskoncept av spårväxlar och metoder för installation

I Meyer et al. (2009) undersöktes hur begagnade spårväxlar i Banverkets (tidigare Trafikverket) spåranslagningar kunde återanvändas för att förhindra förlust av värdefulla resurser. Studien föreslår att järnvägsinfrastrukturförvaltaren behåller äganderätten till alla spårväxlar som tas ur bruk för att möjliggöra återanvändning och minska kostnaderna. För att säkerställa hög kvalitet på det återanvända materialet rekommenderas noggranna inspektioner.

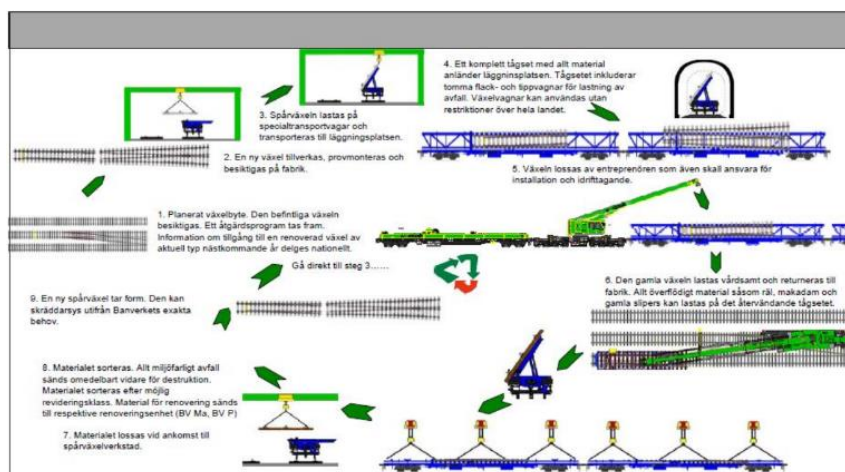
Logistiken för hantering av begagnade spårväxlar bör vara välorganiserad, med strategiskt placerade lagerpunkter nära revideringsplatser. En strukturerad lagerhållning föreslås för äldre och ovanliga spårväxlar, vilket ska minska risken för brist på kritiska komponenter och möjliggöra komponentbyte utan omfattande ombyggnadsprojekt. Ett effektivt beställnings- och transportsystem bör utvecklas för att säkerställa tillgänglighet och minska ledtider. Förbättrad hantering av begagnat material kan uppnås genom stärkt samarbete med revideringsleverantörer (Meyer et al., 2009).

Effektiv administration är avgörande, och användning av materialplaneringsverktyg samt tydliga processer för materialspårning säkerställer att logistikkedjan fungerar optimalt och att en fullständig översikt över tillgängligt material upprätthålls (Meyer et al., 2009).

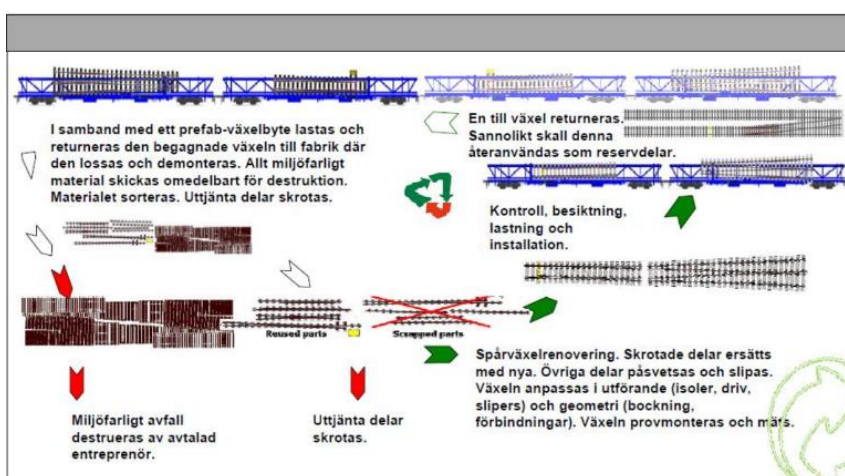
I Vossloh (u.å.) beskrivs Trafikverkets initiativ att implementera ett återvinningskoncept för spårväxlar. Vossloh, en aktör inom järnvägsindustrin, presenterade ett förslag för detta ändamål, vilket visar Trafikverkets avsikt att använda reviderade spårväxlar istället för att ersätta hela spårväxlar. Fyra typer av återanvändning och återvinning av spårväxlar identifierades beroende på växeltyp:

- Full återvinning: Återvinning av utslitna spårväxlar från huvudspåren för att producera nya växlar.
- Växelrevision: En centraliserad process för att återställa begagnade spårväxlar till användbart skick.
- Handel/Trading: Köpa och sälja begagnade spårväxlar till andra projekt eller kunder.
- Avveckling av spårväxlar: Ta bort och omvandla spårväxlar till reservdelar eller skrot.

Följaktligen föreslås att Trafikverket ska styra allt material mot återanvändning. Rapporten illustrerar även logistikflödet vid tillämpning av prefabricerade spårväxelbytemetoden (se Figur 32 och 33).



Figur 32. Kretslopp för spårväxlar. Källa: Vossloh (u.å.)



Figur 33. Processbeskrivning för återanvändning och återvinning av spårväxlar. Källa: Vossloh (u.å.).

5.2.4.8 Jämförelse mellan olika metoder för spårväxelbyte

Krüger (2012) diskuterar skillnaderna mellan prefabricerade och platsbyggda spårväxlar, deras tillverkningsprocesser och installationsmetoder, som används vid reinvesteringsprojekt som banombyggnads- eller spårväxelbytesprojekt.

Prefabricerade spårväxlar tillverkas i fabrik och möjliggör testning och montering av tillval innan transport till installationsplatsen. Detta förkortar installationstiden men kräver specialutrustning för transport och lyft. Fördelarna inkluderar kortare installationstid, arbete i kontrollerad miljö och minskad risk för installationsfel, medan nackdelarna innefattar behovet av specialutrustning och logistiska utmaningar (Krüger, 2012).

Platsbyggda spårväxlar monteras direkt på installationsplatsen, vilket kräver mindre lyftutrustning men längre spåravstängningar. Denna metod kan skada ballastbädden och leda till högre underhållskostnader samt innebär högre arbetskostnader eftersom arbetet ofta utförs under nätter och helger. Även om platsbyggda spårväxlar inte kräver specialtransport och kan anpassas till lokala förhållanden, riskerar de sämre kvalitet och kortare livslängd på grund av skador på monteringsunderlaget (Krüger, 2012).

5.2.5 Cirkularitet i Storbritannien

5.2.5.1 Central materialhantering och svetsverkstad

I flera intervjuer framkom det att vissa respondenter deltog i studiebesök i Storbritannien, där de fick insikt i arbetet med återanvändning och hantering av material från järnvägsinfrastrukturen Network Rail. LSV1 och LSV2 hävdar att den brittiska järnvägsförvaltaren har en central materialhantering i Whitemoor, där allt järnvägsmaterial, inklusive spårmaterial som betongslipers, träslipers, befästningar och spårväxelkomponenter såsom korsningar och tungor, tas in för reparation. Det framgick diskussioner om en svetsverkstad för spår- och växelkomponenter, såsom växeltungor och korsningar, där materialet togs in för reparation.

UH 1 påpekar att briterarna har en verkstad för spårväxelkomponenter där en hög grad av återanvändning sker, särskilt för spårväxelkorsningar och spårväxeltungor. LVS 1 påpekar att kostnaden för nya korsningar är betydligt högre än för reviderade, vilket gör återanvändning kostnadseffektivt och minskar stilleståndstiden. LVS 2 uttrycker detta som följer:

"För att inte tala om att du kan ha en komplett korsning eller en komplett växeldel liggandes i närheten av där det är [...] utsatt bansträckning om någonting skulle gå sönder." - LVS 2

5.2.5.2 Reparation och kvalificering av spårväxelkomponenter

Spårväxelkomponenter anses vara några av de dyraste att ersätta och har långa ledtider, upp till 30 veckor för att erhålla nya. Därför hanterar Whitemoors svetsverkstad reparation av korsningar och tungor. Verkstaden har kapacitet att reparera både små och stora skador på raka spårväxlar. Enligt Stén (2023) genomförs cirka 300 reparationer av spårväxelkomponenter per år, och detta arbete utförs av fyra anställda på verkstaden. Reparation är ofta mer kostnadseffektivt än att köpa nytt material och tar kortare tid än tillverkning av nya delar. Whitemoor arbetar effektivt med att säkerställa snabb leverans av material, ofta inom en dag, för att garantera tillgänglighet vid avhjälpande insatser.

UH 1 berättar att Network Rail klassificerar sliper, ballast och befästningar för att rangordna dem efter deras standard, vilket möjliggör återanvändning eller försäljning. Nästan allt material säljs vidare och används inom andra sektorer, såsom jordbruk. Stén (2023) beskriver att den centraliserade hanteringen av begagnat spårmaterial sker genom tre depåer i Crewe, Westbury och Whitemoor, med årliga intäkter på 29–40 miljoner pund. Whitemoor hanterar cirka 50% av det inkommande materialet och specialiserar sig på rengöring av ballast och reparation av spårväxlar.

5.2.5.3 Skillnader i materialhantering mellan Sverige och Storbritannien

I intervjun med LSV1 och LSV2 diskuterades likheter och skillnader mellan Sveriges och Storbritanniens hantering av spårkomponenter vid demontering. I Storbritannien lyfts stora spann av spår, som demonteras och kontrolleras på stora anläggningar, medan i Sverige demonteras och lyfts rälsen i separata delar. I Storbritannien kapar och lyfter de upp rälsen som fortfarande sitter fast vid sliper i stora block. UH 1 uttrycker följande:

"Man lyfte ut stora spann med spår och så demonterar man dem på de här stora anläggningarna och så gör man kontroll av kvalitet och status." - UH 1

I Sverige tas befästningen bort på banan, rälsen kapas och lyfts i separata delar, antingen med en lastmaskin eller en grävare. I vissa fall används ett spårbyttåg för att byta ut både slipers och räls samtidigt. LVS 2 förklarar att Network Rail har större centrallager och flera mindre lagerpunkter som distribuerar material genom distributionsrundor, något som UH 3 och understrycker i en annan intervju. Det intressanta är att de har ett liknande system hos Trafikverket, men med skillnaden att de har ett större centrallager som distribuerar artiklar till över 100 entreprenadlager och mindre försörjningspunkter runt om i Sverige.

En betydande skillnad är ägarförhållanden; i Storbritannien drivs de närmaste lagerpunkterna till underhållsplatserna av järnvägsförvaltaren och bemannas av dess personal. I Sverige ansvarar entreprenörer för driften av entreprenadlagren. Dessutom sköts allt underhåll internt i Storbritannien, på egen regi, vilket skiljer sig från det svenska systemet. LVS 2 fortsätter:

"Analysen där [...] också som de började med att vilja få kontroll på allt begagnat material som plockas ur deras järnvägssystem för att säkra upp att inte kom in material bakvägen som inte höll rätt standardklass, rätt kvalitetskrav och återinfördes i järnvägssystemet i vinstdrivande syfte då, på ett icke säkert sätt." - LVS 2

5.2.5.4 Materialflöde och hantering av begagnat spårmaterial

Stén (2023) beskriver flödet av återanvändning och återvinning av spårmaterial enligt följande faser:

1. **Anmälan och planering av materialupphämtning:** Platschefer och projektledare anmäler materialet för upphämtning innan ett projekt påbörjas. Detta görs på grund av styrande dokument och ekonomiska incitament.
2. **Materialupphämtning och transport:** Material upphämtas och transporteras huvudsakligen via järnväg, vilket är kostnads- och miljöeffektivt. Lastbilstransporter används ibland för stålmaterial, men medför hög risk för stöld.
3. **Kontroll, klassificering och sortering:** Materialet genomgår kontroller, klassificering och sortering. Ett exempel på detta är sliper, som klassificeras med visuell inspektion och graderas från G1 (helt nya) till G4 (skrot). Lösa komponenter som isolatorer och clips slängs på grund av svårigheten att gradera dem.
4. **Lagerföring och återförsäljning:** Färdiga komponenter lagerförs utomhus för återförsäljning eller återanvändning. Alternativen inkluderar återbruk på spår, återanvändning för andra ändamål, eller återvinning.

Network Rail står inför flera utmaningar med återanvändning av begagnat material på grund av ekonomiska incitament och tekniska regelverk. Det finns även svårigheter att få räls i tillräckligt långa bitar för återanvändning och att möta krav på återanvändning i anläggningen Stén, (2023).

5.2.6 Underhållsprocesser; Förbättringsmöjligheter för underhåll

5.2.6.1 Planering

UH 2 betonar svårigheten att få trafikledningen att förstå behovet av längre arbetstider för att undvika trafikstörningar. Ibland krävs mer tid än planerat för att utföra arbete, även med god framförhållning.

“Den långsiktiga funkar ju fortfarande, men den kortsiktiga planeringen skulle kunna bli betydligt bättre och det är ju just att tågledningen skulle behöva ha dialogen med underhåll.”
- UH 2.

Bristande planering leder ofta till att entreprenörer inser att tilldelad tid inte räcker, vilket kräver omplanering och längre tid. Både UH 2 och UH 1 påpekar att dålig planering och kommunikation resulterar i ineffektiva och temporära lösningar.

5.2.6.2 Genomförande och förebyggande åtgärder

Genomförandet av spårunderhåll har förändrats över tid. UH 1 och UH 2 noterar att ansvaret och kunskapen hos entreprenörerna har blivit fragmenterad, delvis på grund av bristande utbildning och krav från beställarna.

“Ja, det blir tyvärr lite så, och det är just det här med att kravställa. Vi har inte kravställt bättre än så, då är det resultatet vi får tyvärr.” - UH 2.

Det råder en brist på specialister, särskilt bland den yngre generationen. Förbättringspotentialen ligger i att satsa mer på kompetensutveckling och att beställaren tar ett större ansvar för att säkerställa nödvändig kompetens. UH 2 föreslår också att månadsanmärkningar automatiskt bör inkluderas i underhållskontrakten för att förhindra att de utvecklas till allvarigare problem.

5.2.6.3 Utvärdering och Leveransuppföljning

PL understryker vikten av ett fungerande underhållsprogram och att det genomförs korrekt, med en tydlig ansvarig person som övervakar och säkerställer att arbetet utförs enligt föreskrifterna. UH 1 påpekar att Trafikverket genomför leveranskontroller, men att mer omfattande uppföljningsinsatser och infrastrukturförvaltare finns på plats i andra europeiska regioner. EUH 1 påminner om att det tidigare fanns spårsvets-instruktörer som säkerställde korrekt genomförande av arbetet.

6. DISKUSSION

I detta kapitel diskuteras resultaten erhållna med interna dokument erhållna från Trafikverket och teoretiska referensramen samt databastudier. Först analyseras kritiska komponenter, punkter med underhållsbehov och hanteringen av återanvända spårväxlar i Storbritannien och tidigare i Sverige för att belysa både likheter och skillnader i deras tillvägagångssätt. Vidare diskuteras även kriterier och olika metoder för montering av spårväxelkomponenter.

6.1.1 Kritiska komponenter och bandelar

Från intervjuerna framgår det att driftstörningar på spårväxlar utgör en betydande utmaning, och väderförhållanden anges vara en primär orsak till dessa problem. Respondenterna noterar att under vintermånaderna kan snö och is påverka omlägningsanordningar och korsningar. Det försvårar underhållsarbetet och resulterar i förlängda driftstörningar om problemen inte åtgärdas i tid. Ett specifikt exempel från Ofelia visar att växelvärmehade det högsta antalet inrapporterade fel, särskilt under vintermånaderna då växelvärmehyller en funktion för att smälta snö och is så att växeln går att lägga om. Det är dock värt att notera att många av de rapporterade felen för växelvärmeh bidrar ej till några längre förseningar. Utöver det visar Ofelia att "anläggningsdelar" som orsakar flest antal merförseningar och störningar på Malmbanan, i avtagande ordning, är kontrollanordning, omlägningsanordning och korsning. Vid analysen på "komponentnivå" i Ofelia framgår det att ur ett trafikpåverkande perspektiv, är de kritiska komponenterna, i avtagande ordning, spetsräl och vingräl (båda ingår som komponenter i korsningen), växeldriv, underläggsplattor och kontaktfjäder. Det stämmer överens med några av respondenternas svar som angav att tungor, korsningar och växeldriv ansågs vara mest kritiska. När det gäller korsningar och tungor kan de vara specifika för vissa växeltyper, som till exempel rörliga korsningar, och med det vill det hävdas att unikt konstruerade komponenter kan potentiellt orsaka problem och därmed bli kritiska. Med detta i åtanke finns det ett behov av att ha dessa komponenter som reservdelar i lager nära anläggningen. Felfrekvenserna (se bilaga 3), som är baserad på data erhållna från Malmbanan, visar att under de senaste åren har anläggningsdelarna, kontrollanordning, låsanordning samt omlägningsanordning och tunganordning ökat i antal inrapporterade fel och medfört akut avhjälpande underhåll. När det kommer till korsningar på Malmbanan visar bilaga en konstant felfrekvens på ett till två inrapporterade fel per år.

För identifiering av anläggningspunkter med motsvarande komponenter som är i behov av underhållsåtgärder visar resultaten från Bessy, som inkluderar data från både Haparandabanan och Malmbanan, att korsningar, tungor, stödräl, sliper och ballast är de komponenter som har flest anmärkningar mellan åren 2010 och 2020. Korsningar förekommer frekvent i besiktningsklasserna B3, B4 och B5. En övervägande del av korsningar, tillsammans med stödräl och tungor, utsätts för slitage och utvalsning. Huvuddelen av sliper utsätts för röta, vilket tyder på att de är träsliper. Det har också observerats fall där ballast och befästning saknas, och en betydande andel av anmärkningarna för befästningar betraktas som defekta.

Enligt anläggningsinformationen från BIS finns anläggningar med besiktningsklass 3 endast på Malmbanan, främst i bandelarna 111, 112, 113 och 114. Här är korsningar med fast spets, stödräl och tungor de mest förekommande komponenterna med V-anmärkningar. Det kan generellt konstateras att antalet anmärkningar som rapporterats i Bessy har minskat över tiden (från 2010 till 2020), och en betydande del av dem har övergått från V- till M-anmärkningar.

En respondent hävdade att inspektionerna av korsningar har förbättrats, vilket kan förklara varför antalet anmärkningar på korsningar har minskat från V- till M-anmärkningar under de senaste åren. Samma resonemang kan tillämpas på besiktningsklass 4 och dess ingående spårväxelkomponenter, som främst kan hittas på bandelarna 111, 117, 118, 119 (Malmbanan) och 137 (Haparandabanan). Växlar med besiktningsklass 5 förekommer endast på bandel 112 och 113, vilket är delar av Malmbanan med hög trafikbelastning. De flesta anmärkningarna med besiktningsklass 5 kommer främst från korsningar med rörlig spets.

När det gäller spårväxlar av B1 och B2, kan det noteras att bandelar med besiktningsklass 1 uppvisar anmärkningar på sliper, stödräl, tungor och korsningar med fast spets. Andelen M- och Å-anmärkningar förblir hög under tidsperioden 2010–2020, vilket indikerar behovet av förebyggande underhållsåtgärder (Ekström, 2015). Korsningar har dock inga årsanmärkningar, vilket också förklarar deras benägenhet att utsättas för slitage oavsett besiktningsklass. Som en respondent lyfte upp att även om det finns förbättringar kan korsningar fortfarande orsaka totalhaverier och leda till driftstopp. En av orsakerna till att det finns V- och A-anmärkningar på dessa bandelar kan vara att entreprenörerna avvaktar med att åtgärda M-anmärkningarna och istället samlar dem för senare åtgärdande. Följaktligen, de bandelar med flest antal växlar av B1 är bandel 122 och 133. Bandel 122 är en driftplats, medan bandel 133 återfinns på Haparandabanan. Ett antal av växlar med besiktningsklass 1 befinner sig på bandel 111, 112, 113 och 119 som utgör delar av Malmbanan.

Bortsett från korsningar visar graferna från Bessy att det finns komponenter såsom stödräl och tungor i olika besiktningsklasser som uppvisar behovet av förebyggande underhåll med M- och Å-anmärkningar samt akut åtgärdande underhåll med V- och M-anmärkningar. Det bör noteras att frekvensen av M-anmärkningar har minskat på Malmbanan och Haparandabanan (se bilagorna). Dock indikerar resultaten från Ofelia att det har varit en ökande trend för A-anmärkningar i samband med V-anmärkningar, vilket tyder på att akuta åtgärder behövs på spårväxelanläggningarna. Det är därför viktigt att notera att datan som presenteras i Bessy är från 2010-2020, medan Ofelia täcker perioden 2015-2023.

6.1.2 Återanvändning i Storbritannien och Sverige

Baserat på intervjuer och dokumentstudier framgår det att Trafikverket har potential att implementera en cirkulär modell för både förebyggande och avhjälpande underhållsåtgärder. Det finns möjligheter att återanvända och återvinna spårväxelkomponenter, vilket bibehåller deras värde (Kossila, 2021). Enligt teorin om cirkulär ekonomi (Kaewunruen et al., 2023), är en av de centrala strategierna för att uppnå hållbarhet att integrera återanvändning och återvinning i hela livscykeln för produkter. Detta stöds av Bocken et al. (2016), som betonar att cirkulära strategier som "closing-loop" och "slowing-loop" kan effektivt användas för att hantera spårväxelkomponenter. Materialhanteringen hos Network Rail visar en stark koppling till de fundamentala strategierna för materialhantering som presenteras av Bocken et al. (2016). Closing-loop-strategin används när komponenter inte uppfyller kriterierna och därför återvinns eller säljs till externa aktörer för andra ändamål, vilket även Vossloh (u.å) identifierat som en möjlighet för hantering av avvecklade spårväxelmateriel. Slowing-loop-strategin kan kopplas till processer som förlänger komponenternas livslängd genom exempelvis en svetsverkstad där spårväxelkomponenter repareras, lagerförs och återanvänds för underhållsåtgärder eller andra projekt (Bocken et al., 2016; Kossila, 2021).

6.1.1.1 Praktiska tillämpningar

Storbritannien hanterar återanvänt spårmaterial genom ett centraliserat system via Network Rails depåer i Crewe, Westbury och Whitemoor, vilket möjliggör effektiv logistik, sortering, klassificering och distribution av materialet, inklusive ballast, sliprar av trä och betong, räls och spårväxelkomponenter (Stén, 2023; UIC, 2021). Whitemoors svetsverkstad spelar en central roll i reparationen av spårväxelkomponenter, vilket möjliggör snabb och kostnadseffektiv återanvändning av komponenter som tungor och korsningar. Historiskt sett genomfördes växelrevisioner i Sverige där spårväxlar granskades, mättes, svetsades och reviderades i verkstäder. Genom noggranna inspektioner identifierades dugliga komponenter som togs in för revision, klassificerades och sorterades efter olika revisionsklasser och lagrades sedan för framtida användning, vilket säkerställde effektiv resurshantering. Komponenten togs ut för användning när kompatibla växelkomponenter hittades och kompletta växlar plockades ihop för olika projekt. Likheterna mellan systemen i Storbritannien och Sverige är tydliga. Både utländska och tidigare verksamhet använder sig av centraliserade system för att hantera återanvänt spårmaterial; i Storbritannien via Network Rails depåer och i Sverige genom växelrevisioner i verkstäder. I båda fallen sorteras och klassificeras komponenterna noggrant innan de lagras för framtida användning och, vilket säkerställer att rätt komponenter finns tillgängliga vid underhåll. Både Whitemoors svetsverkstad i Storbritannien och verkstäderna tidigare i Sverige har kapacitet att reparera och återanvända viktiga komponenter som tungor och korsningar, vilket är både kostnadseffektivt och tidsbesparande jämfört med att tillverka nya delar. Dessutom bekräftar UIC (2021) att centraliserade system och effektiva logistklösningar är avgörande för framgångsrik materialåteranvändning, vilket minskar miljöpåverkan och kostnader.

6.1.1.2 Ekonomiska incitament, utmaningar och underhåll

Enligt intervjuerna har Trafikverket betydande utmaningar vid implementeringen av cirkularitet, främst på grund av bristen på ett systematiskt arbetssätt, en otillräckligt organiserad struktur samt avsaknad av en tydlig ansvarsfördelning för hantering av begagnat material. Respondenterna hävdar att minskade incitament har lett till en ökad försäljning av material som skrot. Ett annat problem kvarstår är projektledare som ansvarar för ombyggnadsprojekt inte alltid inser värdet av att återanvända spårväxelmateriel, vilket flera respondenter hävdar beror på bristande kunskap om att spårväxelkomponenter innehar långa tekniska livslängd och med det går att återanvända. Detta är i enlighet med Salmenperä et al. (2021) identifierade flera hinder för implementering av cirkulär ekonomi, såsom höga insamlingskostnader, osäkra intäktmodeller och brist på fungerande marknader för återanvänt material. Något som försvårar också Trafikverkets implementering. För att övervinna dessa hinder är det nödvändigt att utveckla ekonomiska incitament och förbättra informationsdelningen mellan aktörer. Parallellt, trots förekomsten av ekonomiska incitament och central styrning, är det fortfarande en utmaning att integrera material i återanvändningscykeln i Storbritannien. Projektledare och platschefer bedömer ofta att det är mer kostnadseffektivt och säkert att införskaffa nytt material, vilket försvårar återanvändningen av vissa komponenter (Stén, 2023). Detta kan understrykas av Salmenperä et al. (2021) och Kossila (2021) angående införskaffandet av nytt material. Däremot, även om en betydande andel av komponenterna såsom sliprar och rälmateriel säljs vidare, återanvänds korsningar och tungor i högre utsträckning eftersom dessa är särskilt värdefulla för Network Rail, dels eftersom det alltid finns behov av sådana komponenter för underhållsåtgärder. Implementeringen av en cirkulär modell inom Trafikverket kräver inte bara

tekniska lösningar utan också organisatoriska förändringar. För att övervinna dessa utmaningar behövs en strukturerad process för materialåteranvändning, tydlig ansvarsfördelning, förbättrad informationsdelning och ökad medvetenhet om de ekonomiska fördelarna med cirkulär ekonomi, vilket också stöds av Kossila (2021).

I samband med detta, på underhållssidan påpekar flera av respondenterna på liknande utmaningar och förbättringsmöjligheter. De betonar bland annat bristande förståelse för tidskrav vid planering, vilket ofta resulterar i ineffektiva och kortsiktiga lösningar. Respondenterna framhåller också att kommunikationen mellan trafikledning och entreprenörerna är bristande, vilket försvårar långsiktig planering och förberedelser. Fragmenteringen av kompetens hos entreprenörer, delvis på grund av bristande utbildning och otillräckliga krav från beställaren. Förbättringsmöjligheter som respondenterna identifierar inkluderar att stärka utbildningen och höja kravställningen på entreprenörer för att säkerställa nödvändig kompetens. De föreslår även att införa incitament för kompetensutveckling och förbättrad kommunikation för att möjliggöra mer effektivt underhållsarbete.

6.1.1.3 Logistik och lagerhantering

Enligt Kossila (2021) är cirkulär logistik en av kritiska komponenter för att uppnå effektiv återanvändning och återvinning inom en cirkulär ekonomi. Detta kräver en noggrant planerad och organiserad hantering av materialflöden. Meyer et al. (2009) antyder behov av en omfattande och välorganiserad logistik för hantering av begagnade spårväxlar, vilket stöds av praktisk tillämpning i både Storbritannien och verksamheten som fanns tidigare i Sverige. Den strukturerade lagerhanteringen i Storbritannien, som möjliggör snabb distribution av återanvänt material, överensstämmer med om strategiskt placerade lagerpunkter nära revideringsplatser för att förbättra tillgängligheten (Meyer et al., 2009).

Trafikverkets tidigare användning av ett noggrant registreringssystem för lagerhantering av material som spårväxlar, räls, tungor och korsningar illustrerar hur en strukturerad lagerhållning kan fungera i nutida fall. Detta system säkerställde att lagerstatusen var uppdaterad och transparent, vilket minskade risken för brist på kritiska komponenter och möjliggjorde komponentbyte utan behovet av omfattande ombyggnadsprojekt (Meyer et al. 2009). Ett välfungerande system med styrande dokument möjliggjorde återanvändning av komponenter, något som även rekommenderas i Meyer et al. (2009). Salmenperä et al. (2021) betonar att för att cirkulära affärsmodeller ska vara framgångsrika, krävs förbättrad informationsdelning och tydliga processer för materialhantering, vilket Trafikverket kan uppnå genom att implementera ett strukturerat lagerhanteringssystem.

Det betonas vikten av att allt begagnat material ska gå till järnvägsförvaltaren (Vossloh, u.å.; Meyer et al., 2009), vilket tidigare genomfördes. Denna hantering av begagnat material kan kopplas till den teoretiska referensramen genom att främja ett strukturerat och effektivt system för materialåteranvändning som är i linje med de principer och strategier som föreslagits av Salmenperä et al. (2021) och UIC (2021).

6.1.1.4 Kriterier och metoder för återanvändning och byte av spårväxlar

Denna studie fokuserar på komponentbyte som en förebyggande underhållsåtgärd, där slitna eller skadade delar byts ut, i kontrast till att byta hela spårväxlar som klassificeras som reinvesteringar (Wickström, 2008; Krüger, 2012; Hedström, 2001). Återanvändning av begagnat material medför logistiska och tekniska utmaningar (Kossila, 2021).

Det framgår att vid komponentbyte krävs en bedömning av hela växeln, eftersom justeringar kan förkorta livslängden. För att en begagnad komponent ska passa in i anläggningen kan övriga delar behöva justeras, vilket enligt flera respondenter kan ha en negativ inverkan på spårväxels totala livslängd. Livslängden på anläggningen kan förkortas på grund av anpassningen av andra delar till den utbytta begagnade komponenten.

Andra aspekter som bör beaktas är kombinationen av komponenter som ska bytas, dels på grund av kapacitetsutnyttjandet, dels för att vara kostnadseffektivt och undvika ytterligare underhållsbehov på anläggningen. Ett exempel på detta är vid byte av sliper, som oftast kräver spårriktning efter bytet har genomförts. Mycket av det som framgår i intervjuerna är att komponenter som reviderade och lagerförs tas in och eventuellt kompletta spårväxlar plockas ihop.

Vid komponentbyte är det också viktigt att beakta specifika resurser och teknisk kompetens som krävs för att genomföra underhållet effektivt och säkert. Tillexempel kan byte av moträlér göras snabbt och med låg till medellåg kompetens, medan tunghalvor och korsningar kräver mer avancerade maskiner och högre teknisk kompetens. Dessutom kan resurskraven variera beroende på platsens tillgänglighet och komplexitet, vilket kan påverka valet av metod och utrustning.

Därmed blir frågan om begagnat material är lämpligt för komponentbyten vid genomförande av förebyggande underhållsåtgärd eller vid ombyggnadsprojekt där kompletta växlar av begagnat material monteras på anläggningen med metoderna som framgick i Krüger (2012).

7. SLUTSATSER, VIDARE FORSKNING OCH REKOMENDATIONER

I detta kapitel sammanfattas studiens slutsatser kopplade till de specificerade delmålen, förslag på vidare forskning om utvecklingen av en cirkulär modell för hantering av återanvända komponenter inom järnvägsunderhåll och rekommendationer.

7.1. Återkoppling till syftet

Syftet med denna studie var att utforska förutsättningarna och möjligheterna för att utveckla en cirkulär modell för effektiv hantering av återanvända komponenter inom järnvägsunderhåll. Målet inkluderade att genomföra driftsäkerhetsanalyser för att identifiera kritiska komponenter i spårväxlar och undersöka tillvägagångssätt för återanvändning av dessa komponenter. Genom att tillämpa både kvalitativa och kvantitativa metoder har denna studie genererat betydelsefulla insikter om underhållsbehoven inom järnvägsinfrastrukturen. Forskningsfrågan som guidade arbetet var: "Hur kan en cirkulär modell utformas samt tillämpas för en effektiv och ändamålsenlig återanvändning av spårväxlar och ingående kritiska komponenter i förebyggande underhållet av järnvägsanläggningen?"

7.1.1 Uppfyllelse av delmål 1

För det första delmålet, resultaten av studien visar att korsningar och tungor utgör de mest kritiska komponenterna på Malmbanan utifrån inträffade fel och trafikstörningar och reservdelsbehov. Det kan konstateras att dessa komponenter framgår som kritiska även på bandel 137, vilket omfattar Haparandabanan. Studien har även identifierat andra kritiska komponenter som till stor del beror på växeltyp, bandelar, besiktningsklasser och årstid. De kritiska komponenterna befinner sig huvudsakligen på bandelar som utgör Malmbanan, inklusive bandel 119 samt bandel 137 (Haparandabanan). Specifika bandelar som är i behov av förebyggande underhåll är bandel 113 Haparandabanan och driftplatsen 122.

7.1.2 Uppfyllelse av delmål 2

Det andra delmålet gick ut på att undersöka tillvägagångssätt för återanvändning av spårväxlar och deras komponenter. Resultatet kopplat till detta mål visar att Trafikverket har potential att implementera en cirkulär modell för både förebyggande och avhjälpande underhållsåtgärder. Detta illustrerades med jämförelsen mellan den tidigare verksamhet som fanns i Sverige samt den praxis som används utomlands. Studien visade att en strukturerad lagerhantering och logistik är avgörande för effektiv hantering av återanvänt material. Erfarenheterna från Network Rail i Storbritannien, där centraliserade system används för att hantera återanvänt material, visar att en liknande strategi i Sverige kan förbättra hanteringen av begagnat material. Denna modell säkerställer att komponenterna blir lätt tillgängliga för underhåll, vilket medfört minskade kostnader vid tillvaratagning av begagnade korsningar och tungor samt minskade merförseningar.

Trots potentialen för kostnadsbesparingar genom återanvändning av material kan det konstateras att det finns betydande utmaningar och hinder vid införandet av cirkularitet i

verksamheten i Sverige. Bristen på systematiskt arbetssätt och avsaknaden av tydlig ansvarsfördelning, brist på kompetens och kunskap bland projektledarna är en del av detta. Sammantaget har denna studie visat att en cirkulär modell kan bidra till ökad effektivitet och tillgänglighet inom järnvägsunderhåll. Det kräver dock noggrann planering, förbättrad kommunikation, samarbete med olika aktörer i processen samt ett ökat fokus på utbildning. Implementering av dessa åtgärder kan potentiellt minska kostnader samt förbättra tillförlitligheten i spårväxelanläggningen. Genom att ha en välplanerad strategi för att identifiera, bedöma och återanvända kritiska komponenter samt förbättra kommunikationsvägar och utbildning, kan en cirkulär modell för järnvägsunderhåll uppnås och hållas effektiv på lång sikt. Detta examensarbete har lagt grund för framtida forskning och implementering av cirkulära modeller inom järnvägsunderhåll.

7.2 Förslag på vidare forskning

- **Ekonomiska modeller för cirkularitet:** Vidare forskning kan undersöka de ekonomiska modellerna som bäst stödjer och ökar cirkularitet vid återanvändning av spårväxelkomponenter. Detta inkluderar analyser av kostnadsbesparingar och ekonomiska incitament för att uppmuntra återanvändning.
- **Miljömässiga effekter av återanvändning:** Forskning kan också undersöka de långsiktiga miljöeffekterna av att implementera en cirkulär modell för järnvägsunderhåll. Detta inkluderar livscykelanalyser för att kvantifiera minskningen av koldioxidutsläpp och andra miljöpåverkande faktorer.
- **Smarta komponentbyten:** Utreda vilka begagnade komponenter som är lämpliga att byta samtidigt för att inte negativt påverka spårväxelanläggningen.
- **Ekonomisk utvärdering av bytesmetoderna:** Studien har också försökt föra diskussioner om vilka bytesmetoder som kan vara lämpliga vid införandet av begagnat material.

7.3 Rekommendationer

- **Implementera strukturerade lagerhanteringssystem**
För att säkerställa effektiv hantering av återanvänt material bör Trafikverket implementera ett strukturerat lagerhanteringssystem liknande det som används av Network Rail i Storbritannien. Detta system bör även inkludera noggrann registrering och spårbarhet av komponenter.
- **Fokusera på korsningar och tungor**
Trafikverket bör fokusera på korsningar och tungor, då resultaten från studien visade att dessa är kritiska komponenter som också är allmänt förekommande på banor med hög belastad trafik, särskilt på samtliga bandelar som utgör Malmbanan.
- **Förbättra kommunikationsvägar**
Effektiv kommunikation och planering mellan trafikledning och entreprenörerna är avgörande för att minska trafikstörningar och förbättra underhållsprocesserna. Det rekommenderas att Trafikverket utvecklar och implementerar förbättrade

kommunikationsprotokoll samt ökar leveransuppföljningen. Detta är också viktigt för ökad cirkularitet i verksamheten.

- **Öka fokus på utbildning**

För att säkerställa att underhållspersonal har nödvändig kompetens för att hantera och återanvända komponenter och genomföra underhåll i övrigt, bör Trafikverket satsa på utbildningsprogram och kompetensutveckling.

Detta kan inkludera incitament för utbildning i kontrakten med entreprenörer.

8. BEGRÄNSNINGAR

I detta kapitel avses diskussion om begränsningar beträffande resultaten och det hur det påverkade studiens validitet och reliabilitet.

8.1. Validitet och reliabilitet

En av de största begränsningarna som framgick under studien var hanteringen av databasen, specifikt i samband med analys av data från Ofelia. Ett betydande problem var att många felrapporter enbart registrerades på anläggningsnivå som "Spårväxel" utan att specificera vilken del av anläggningen, såsom tunga eller korsning, eller vidare ner på komponentnivå som till exempel spetsräl och vingräl, som utgör korsningsdelen. Detta skapade utmaningar vid analysen på komponentnivå eftersom det inte gick att urskilja vilken specifik del eller komponent som var felaktig. Många av komponenterna förblev ospecificerade, vilket försvårade en exakt identifiering och analys. Denna brist på detaljnivå i felregistreringen påverkade validiteten negativt, då det förhindrade författaren att utföra en noggrann analys och identifiering av kritiska komponenter. Denna begränsning kunde ha påverkat sambandsdiagrammen och möjligheten att avgöra vilka komponenter som orsakade merförseningar och störde flest tåg. Detta innebar att vissa nyanser och detaljer av felorsaker och deras påverkan kunde ha gått förlorade, vilket potentiellt ledde till mindre precisa slutsatser och åtgärdsförslag. För att förbättra validiteten i framtida studier rekommenderades att detaljeringsgraden i felrapporteringen ökades, vilket skulle möjliggöra en mer exakt analys av data på komponentnivå. Vidare togs beslutet att fokusera enbart på Malmbanan under analysen av data från Ofelia. Pareto-diagrammet visade att det fanns få inrapporterade fel att analysera på Haparandabanan, vilket ledde till att författaren ansåg att det var mer meningsfullt att endast analysera Malmbanan. Detta val kunde ha påverkat generaliserbarheten av resultaten, eftersom det initiala uppdraget var att analysera både Haparandabanan och Malmbanan. Begränsningen i datamängden från Haparandabanan minskade möjligheten att dra bredare slutsatser om spårväxlar i olika geografiska områden. Något annat som också är noterbart beroende på den databasen som analyserades, några av bandelar i ena databasen medan en annan var i en annan databas. Till exempel på detta var bandel 120 och 122 samt 119 var inte med i Ofelia, i BIS var det bandel 120 som saknades.

När det gällde data från Bessy noterades att flera benämningar på komponenter hade samma namn men olika beteckningar. Till exempel fanns det korsningar med fast spets och korsningar med fast spets. Denna inkonsekvens i terminologin försvårade tolkningen av resultaten och påverkade validiteten negativt, eftersom det blev utmanande att säkerställa att alla relevanta besiktningsanmärkningar korrekt identifierades och analyserades. Denna problematik förekom även vid identifiering av orsaker som ledde till anmärkningar. Standardisering av terminologi och beteckningar skulle ha förbättrat noggrannheten i analysen och därmed också validiteten av resultaten. En annan begränsning var tillgången till litteratur om återanvändning av spårväxlar. Den tillgängliga litteraturen fokuserade till stor del på återvinning och återanvändning för andra syften, medan specifik forskning om återanvändning av spårväxlar för deras ursprungliga syfte var mycket begränsad. Denna brist på relevant litteratur påverkade möjligheten att dra välgrundade slutsatser baserade på tidigare studier och minskade därmed den teoretiska basen för analysen. Vidare baserades en betydande del av studien på intervjuer

och dokumentstudier från Trafikverket, vilket kan ha begränsat perspektivet och påverkat resultatens generaliserbarhet.

REFERENSER

Achterberg, E., Hinfelaar, J., & Bocken, N. (2016). Master circular business models with the Value Hill.

Ben-Daya, M., Kumar, U., & Murthy, D. P. (2016). Introduction to maintenance engineering: modelling, optimization and management. John Wiley & Sons.

Berg, M., Eklund, H., Engström, J., Eriksson, A., & Lindkvist, M. (2020). Revidering av besiktningsintervall - Ett Sex Sigma-projekt med Trafikverket. Rapport, Luleå tekniska universitet, Luleå

Bergman, B., & Klefsjö, B. (2020). Kvalitet. *Från behov till användning. Studentlitteratur, Lund.*

Bergdahl, L., Erlandsson, M., & Nilsson, G.(2014). *Haparandabanan slutrapport 2006–2013*.Trafikverket. Hämtad från [Haparandabanan slutrapport 2006–2013 \(diva-portal.org\)](https://diva-portal.org/Haparandabanan_slutrapport_2006-2013)

Blomsma, F., & Tennant, M. (2020). Circular economy: Preserving materials or products? Introducing the Resource States framework. *Resources, Conservation and Recycling*, 156, 104698.

Bocken, N. M., De Pauw, I., Bakker, C., & Van Der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of industrial and production engineering*, 33(5), 308-320.

Bonnett, Clifford F. (2005). *Practical railway engineering [Elektronisk resurs]*. 2nd ed. London: Imperial College Press

Bårström, S. (2012). *Den svenska järnvägen / Sven Bårström, Pelle Granbom*. Trafikverket.

Carlsson, A.,Dunér,F., Lundberg,K (2023). *Materialflöden och indikatorer för Cirkulär ekonomi*.Trafikverket.Hämtad från https://fudinfo.trafikverket.se/fudinfoexternwebb/Publikationer/Publikationer_007601_007700/Publikation_007660/Slutrapport_MICE.pdf

Dubois, A., & Gadde, L. E. (2002, January 1). Systematic combining: an abductive approach to case research. *JOURNAL OF BUSINESS RESEARCH*, 55(7), 553–560. [https://doi.org/10.1016/S0148-2963\(00\)00195-8](https://doi.org/10.1016/S0148-2963(00)00195-8)

Duffuaa, S.O. & Raouf, A. (2015). *Planning and Control of Maintenance Systems [Elektronisk resurs]* Modelling and Analysis. (2nd ed. 2015.) Cham: Springer International Publishing.

Ekholm, T. (2012, 14 mars). Nya Haparandabanan blir viktig godslänk i nordost. *Infrastrukturnyheter*. Hämtad från <https://www.infrastrukturnyheter.se/20190804/8959/nya-haparandabanan-blir-viktig-godslank-i-nordost>

Ekström, C. (2015). Underhållbehov på järnväg-Jämförelse mellan två regionala banor. CODEN: LUTVDG/(TVTT-5248)/1-77/2015.

Eisenhardt, K. M. (1989). Building Theories from Case Study Research. *The Academy of Management Review*, 14(4), 532–550. <https://doi.org/10.2307/258557>

Espling, U. (2004). *Ramverk för en drift-och underhållsstrategi ur ett regelstyrkt infrastruktursperspektiv* (Doktorand avhandling, Luleå tekniska universitet).

Genovese, A., Figueroa, A., Koh, S. C. L., & Acquaye, A. A. (2017). Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. *Omega (United Kingdom)*, 66, 344–357. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.015>

Giunta, M. (2023). Trends and Challenges in Railway Sustainability: The State of the Art regarding Measures, Strategies, and Assessment Tools. *SUSTAINABILITY*, 15(24), 16632. <https://doi.org/10.3390/su152416632>

Goyal, S., Kapoor, A., & Esposito, M. (2018). Circular economy business models in developing economies: Lessons from India on reduce, recycle, and reuse paradigms. *Thunderbird International Business Review*, 60(5), 729–740. <https://doi.org/10.1002/tie.21883>

Hedström, I. (2019). Implementering av Cirkulär Ekonomi: ett verktyg för en mer hållbar produktion. Hämtad från <https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1374148&dswid=9784>

Hedström, R. (2001). Kriterier för byte alternativt fortsatt underhåll av spårväxlar. Hämtad från <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:670011/FULLTEXT01.pdf>

International Union of Railways.(2021). *Circular practices in the railway and ways forward - REUSE Project final Report*. Hämtad från [Circular practices in the railway and ways forward - REUSE Project final Report \(uic.org\)](https://www.uic.org/eng/press-releases/2021/circular-practices-in-the-railway-and-ways-forward-reuse-project-final-report)

Johansson, K. (1997). *Driftsäkerhet och underhåll*. (2., [utök.] uppl.) Lund: Studentlitteratur.

Johansson, P., & Lundström, A. (2021). Bristanalys Narvik-Luleå Bristande kapacitet i järnvägssystemet, förslag på kapacitets-och kvalitetshöjande åtgärder: slutrapport. Hämtad från <https://trafikverket.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1573884>

Jonsson, P., & Mattsson, S. A. (2016). *Logistik-Läran om effektiva materialflöden* (3. uppl.). Lund: Studentlitteratur AB.

Kaewunruen, S., Guo, Y., Jing, G., & Matsumoto, A. (2023). Circular economy implementation in railway systems beyond net zero. *Frontiers in Built Environment*, 9. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1239740>

Kobbacy, K.A.H. & Murthy, D.N.P. (2008). *Complex System Maintenance Handbook [Elektronisk resurs]*. London: Springer-Verlag London Limited.

Kossila, L. (2021). *Cirkulär logistik-Praktiska exempel på cirkulär supply chain management*. Studentlitteratur AB.

Krüger, R. (2012). *Jämförelse av olika spårväxlingsmetoder*. Trafikverket [INTERN DOKUMENT]

Lahane, S., Kant, R., & Shankar, R. (2020). Circular supply chain management: A state-of-art review and future opportunities. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, 258, 120859. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120859>

LKAB.(u.å.).*Malmbanan*. Hämtad från [LKAB och Malmbanan - LKAB](#)

Mahboob, Q., Zio, E. & Zio, E. (red.) (2018). *Handbook of RAMS in railway systems Handbook of rams in railway systems - theory and practice*. Boca Raton: Taylor & Francis, CRC Press.

Meyer, J.E., Karlsson, M., Roos, L., Boëthius, A., Westerberg, M. (2009) *Recycling av spårväxlar*. Banverket. [INTERN DOKUMENT]

Milios, L., Beqiri, B., Whalen, K. A., & Jelonek, S. H. (2019). Sailing towards a circular economy: Conditions for increased reuse and remanufacturing in the Scandinavian maritime sector. *Journal of Cleaner Production*, 225, 227–235. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.330>

Mobley, R.K. (2002). *An introduction to predictive maintenance [Elektronisk resurs]*. (2nd ed.) Amsterdam: Butterworth-Heinemann.

MSB. (2024). *Det svenska civila beredskapssystemet*. Hämtad från <https://www.msb.se/sv/amnesomraden/krisberedskap--civilt-forsvar/det-svenska-civila-beredskapssystemet/>

Nissen, A. (2005). *Analys av statistik om spårväxlings underhållsbehov*. (Doktorsavhandling, Luleå tekniska universitet).

Nissen, A. (2009). Development of life cycle cost model and analyses for railway switches and crossings. (Doktorsavhandling, Luleå tekniska universitet).

Nissen, A. (2011). Driftssäkerhet och underhåll:[version 7]. Luleå: Luleå tekniska universitet.

Patra, A. P. (2007). RAMS and LCC in rail track maintenance (Doktorandavhandling Luleå tekniska universitet).

Potting, J., Hekkert, M. P., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). Circular economy: measuring innovation in the product chain. *Planbureau voor de Leefomgeving*, (2544). Hämtad från [Länk](#)

Rama, D., & Andrews, J. D. (2013). A reliability analysis of railway switches. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of rail and rapid transit*, 227(4), 344-363. <https://doi.org/10.1177/0954409713481725>

Rey, A., Lindén, T., & Lennartsson, J. (2022). Uppdrag att redogöra för åtgärder för att minska störningar i järnvägssystemet. Hämtad från [Uppdrag att redogöra för åtgärder för att minska störningar i järnvägssystemet \(diva-portal.org\)](#)

Rosendahl, F., Wargsjö, A., & Äijä, H. (2022). Åtgärder för visst järnvägsunderhåll i egen regi. Hämtad från <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1721325/FULLTEXT01.pdf>

Salmenperä, H., Pitkänen, K., Kautto, P., & Saikku, L. (2021). Critical factors for enhancing the circular economy in waste management. *Journal of cleaner production*, 280, 124339.

Segerstedt, A. (2018). *Logistik med fokus på material-och produktionsstyrning*. Liber.

Stén, S (2023). Erfarenhetsåterföring Network Rail spårmaterial [PowerPoint-presentation]. Trafikverket. [INTERN DOKUMENT]

Stenström, C., & Parida, A. (2013). *Link and effect model for maintenance of railway infrastructure*. Luleå tekniska universitet.

Sundh, J., & Canaki, A. (2024). Trafikverkets underhållsplan: för åren 2024–2027. Hämtad från [Trafikverkets underhållsplan : för åren 2024–2027 \(diva-portal.org\)](#)

Toller, S., Norberg, J., & Hansson, M. (2022). Cirkulärt byggande–hinder och möjligheter: Redovisning av regeringsuppdrag. Hämtad från <https://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1726571/FULLTEXT01.pdf>

Trafikverket. (u.å.a). *Vår verksamhet: Vision och uppdrag*. Hämtad från [Länk](#)

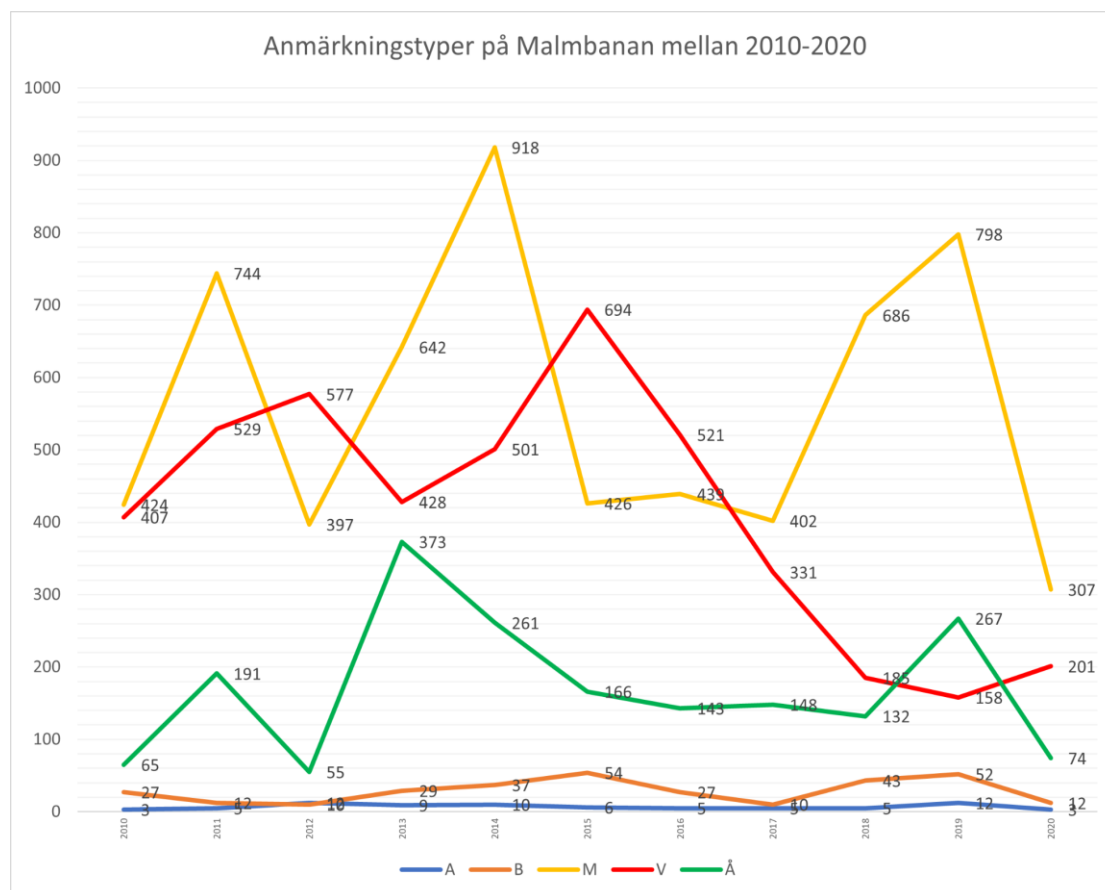
Trafikverket. (u.å.b). *Branschstruktur - Anläggningsmarknad, tekniska tjänster och konsulter*

- Hämtad från [Länk](#)
- Trafikverket.(u.å.c). *Järnväg - Marknad och konkurrens.*
[Länk](#)
- Trafikverket. (u.å.d). *Begagnat tekniskt godkänt material (TGM) och bristartiklar.* Hämtad från [Länk](#)
- Trafikverket.(2015).*BVH 807.36 - Underhållsbesiktning av övriga anläggningar(TDOK 2014:0684)[DOKUMENT]* Hämtad från
Trafikverkets hemsida: <http://trvdokument.trafikverket.se/>
- Trafikverket. (2017, Oktober 5). *Samhällsekonomisk analys järnvägsinvesteringar* [Broschyr].
[Länk](#)
- Trafikverket. (2019). *Säkerhetsbesiktning periodicitet (TDOK 2019:0174)[DOKUMENT]*
Hämtad från Trafikverkets hemsida: <http://trvdokument.trafikverket.se/>
- Trafikverket. (2020). *Säkerhetsbesiktning av fasta järnvägsanläggningar (TDOK 2014:0240)[INTERN DOKUMENT]* Hämtad från
Trafikverkets hemsida: <http://trvdokument.trafikverket.se/>
- Trafikverket. (2021a). *Banöverbyggnad-Spårväxlar (TRV INFRA-00017)[Dokument]*
- Trafikverket. (2021b). *System-Byggnation (TRV INFRA-00307)[Dokument]*
- Trafikverket. (2023a). *Därför behöver vi öka kapaciteten på järnvägen.*Hämtad från [Länk](#)
- Trafikverket. (2023b). *Så fungerar järnvägsunderhållet.*Hämtad från [Länk](#)
- Trafikverket. (2024) *Malmbanan, Boden-Riksgränsen.*
Hämtad från <https://www.trafikverket.se/vara-projekt/alla-strak/malmbanan/>
- Vossloh. (u.å.). *AFFÄRSANALYS & MARKNADSPLAN RECYCLING.*Vossloh Cognifer
[INTERN DOKUMENT]
- Wickström, G. (2008). Växelrevision: alternativa metoder vid underhåll av spårväxlar. Hämtad från [Växelrevision : alternativa metoder vid underhåll av spårväxlar \(diva-portal.org\)](#)
- Yin, R. K. (2009). *Case study research: Design and methods* (Vol. 5). Sage.
- Yin, R. (1984). case study research. Beverly Hills.

BILAGOR

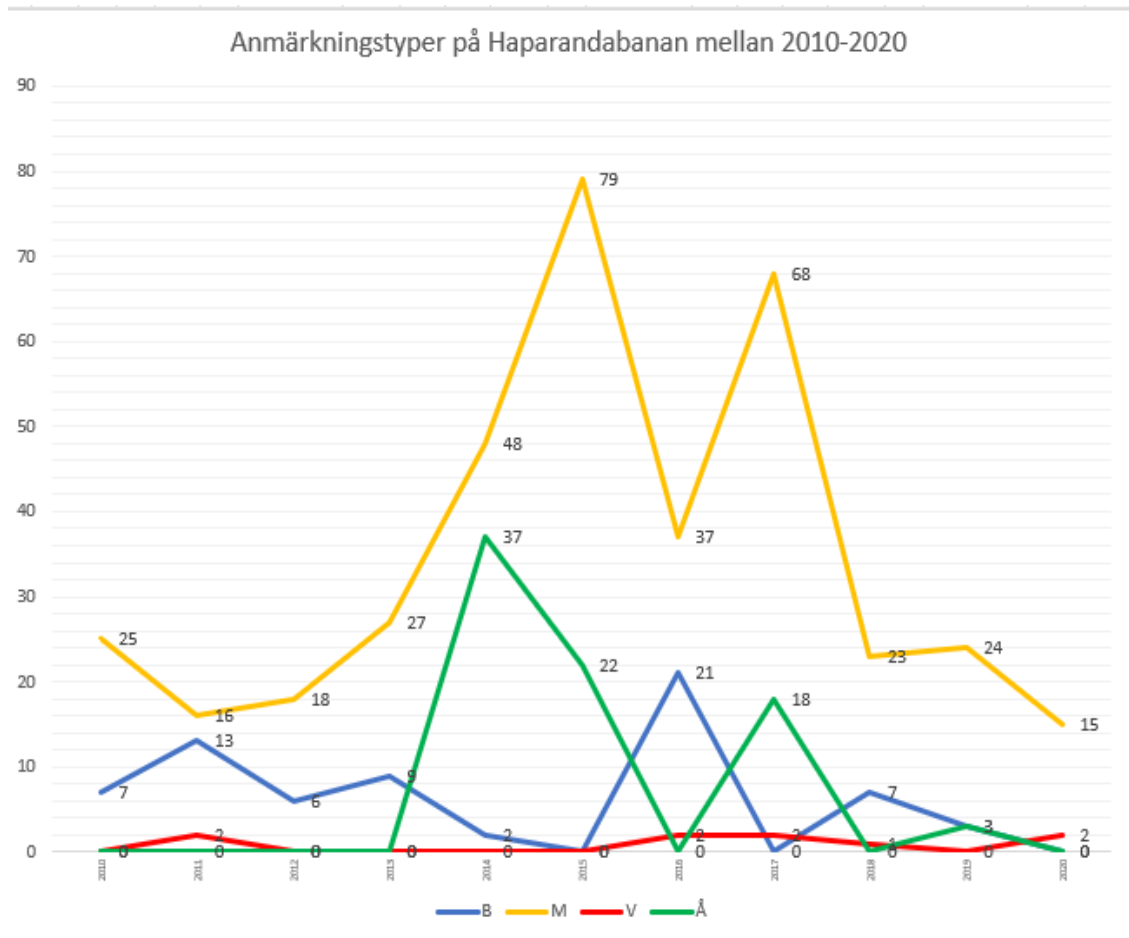
Bilaga 1

Anmärkningstyper på Malmbanan (2010–2020)



Bilaga 2

Anmärkningstyper på Haparandabanan (2010–2020)



Bilaga 3

Felfrekvenser på anläggningsdelar från Malmbanan (2015–2023)

