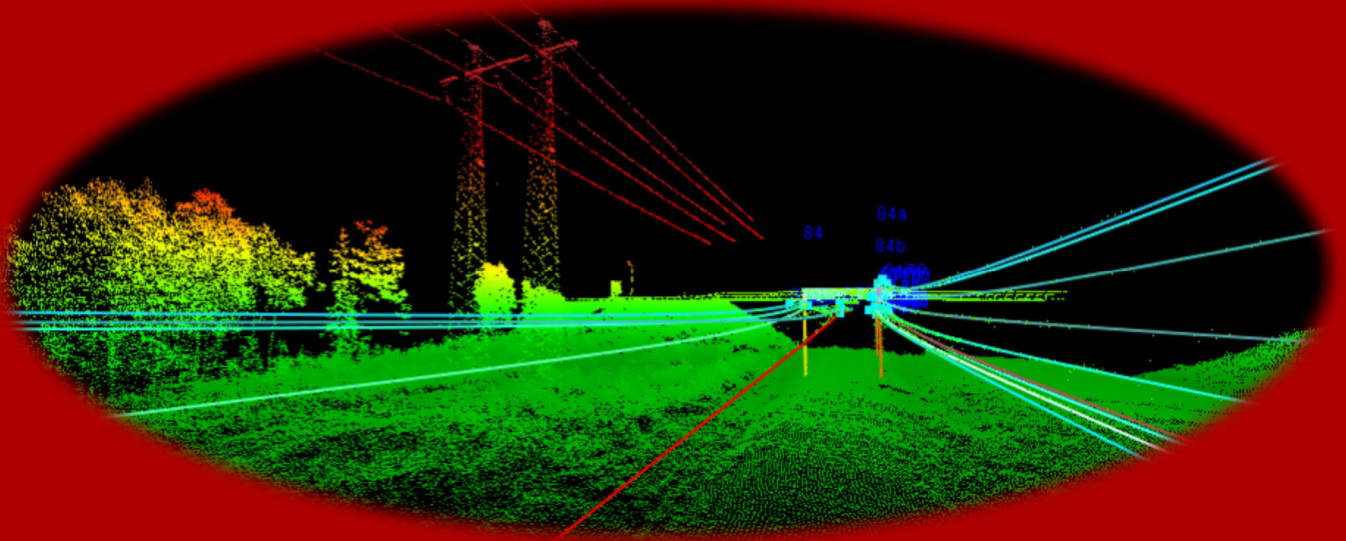


RAPPORT

# Förstudie - Innovationsupphandling

Nya digitala lösningar för  
bättre koll på järnvägsanläggningen och  
ökad punktlighet



**Trafikverket**

Postadress: Sundsbacken 2-4, Box 809, 971 25 Luleå

E-post: trafikverket@trafikverket.se

Telefon: 0771-921 921

Dokumenttitel: Förstudie - Innovationsupphandling - Nya digitala lösningar för bättre koll på järnvägsanläggningen och ökad punktlighet

Författare: Söderholm Peter (PLnpv), Eliasson Jan (ILnb), Eriksson Lotte (KMesp), Granström Rikard (UHtu), Hedgren Erika (ILu), Johansson Karin (JPje), Morant Estevan Amparo (UHvvp), Nygårds Jonas (UHjtsp), Syk Malin (UHtsv)

Dokumentdatum: 2021-05-03

Ärendenummer: TRV 2020/39092

Kontaktperson: Söderholm Peter, PLnpv

Publikationsnummer: 2021:086

ISBN 978-91-7725-847-6

## Innehåll

<b>1</b>	<b>Sammanfattning.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Introduktion .....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Metod och material .....</b>	<b>9</b>
3.1.1.	Kvalitativ analys .....	9
3.1.2.	Kvantitativ analys.....	10
3.1.3.	Reliabilitet och validitet.....	12
<b>3.2.</b>	<b>Invärldsanalys.....</b>	<b>13</b>
3.2.1.	Arbetsätt och verktyg för invärldsanalys i relation till Trafikverkets verksamhet .....	13
<b>3.3.</b>	<b>Behovsanalys .....</b>	<b>14</b>
3.3.1.	Behovsanalys enligt Trafikverket.....	16
3.3.2.	Arbetsätt och verktyg för behovsanalys i relation till Trafikverkets verksamhet .....	16
<b>3.4.</b>	<b>Omvärldsanalys.....</b>	<b>17</b>
<b>3.5.</b>	<b>Marknadsdialog .....</b>	<b>17</b>
3.5.1.	Arbetsätt och verktyg för marknadsanalys relaterad till Trafikverkets verksamhet .....	19
<b>3.6.</b>	<b>Upphandlingsstrategi.....</b>	<b>20</b>
<b>3.7.</b>	<b>Projektidé.....</b>	<b>20</b>
<b>3.8.</b>	<b>Slutrapport och projektrapport.....</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>Resultat .....</b>	<b>22</b>
<b>4.1.</b>	<b>Invärldsanalys.....</b>	<b>22</b>
<b>4.2.</b>	<b>Behovsanalys .....</b>	<b>23</b>
4.2.1.	Övergripande behov .....	23
4.2.2.	Valda anläggningstyper.....	24
4.2.3.	Sammanfattande resultat från genomförd workshop .....	25
4.2.4.	Analys av driftsäkerhet spår .....	26
4.2.5.	Analys av driftsäkerhet kontaktledning .....	31
4.2.6.	Jämförelse av trafikstörningar orsakade av spår respektive kontaktledning.....	34
<b>4.3.</b>	<b>Omvärldsanalys.....</b>	<b>37</b>

4.4.	Marknadsdialog .....	39
4.5.	Upphandlingsstrategi.....	40
4.6.	Projektidé.....	41
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>43</b>
5.1.	Invärldsanalys.....	43
5.2.	Behovsanalys .....	44
5.2.1.	Spår.....	45
5.2.2.	Kontaktledning .....	47
5.2.3.	Jämförelse mellan spår och kontaktledning.....	49
5.3.	Omvärldsanalys.....	50
5.4.	Marknadsdialog .....	51
5.5.	Upphandlingsstrategi.....	52
5.6.	Projektidé.....	52
5.6.1.	Förbättra processer och implementera systematiskt arbetssätt inom driftsäkerhet .....	53
5.6.2.	Utveckla leverantörsmarknaden och beställarrollen för nytt till nytta.	54
5.6.3.	Implementera i baskontrakt underhåll järnväg.....	55
5.6.4.	Integrera it-relaterade lösningar .....	55
5.6.5.	Finansiera innovationsupphandlingen .....	55
<b>6</b>	<b>Referenser .....</b>	<b>57</b>

# 1 Sammanfattning

Denna projektrapport är en leverans inom forsknings- och innovationsprojektet "Förstudie - automatiserad mätning av järnvägsinfrastruktur genom innovationsupphandling" (TRV 2020/39092). Syftet med förstudien är att öka kunskapen om nutid och framtid inom automatiserad mätning av järnvägsanläggningen på linjen mellan driftplatser, för att ge beslutsstöd om en innovationsupphandling är värd att genomföra och hur den ska utformas. Förstudien omfattar tiden 2020-04-01 till 2021-03-31, men baseras även på resultat och erfarenheter från tidigare initiativ. Dessa är primärt projekten "Verklighetslabb digital järnväg" (TRV 2017/67785) som genomfördes 2017-2019 samt "ePilot" (TRV 2017/52515) som pågick 2013-2019, men även det europeiska programmet "Shift2Rail" (S2R) och relaterade projekt.

Förstudien genomförs i enlighet med Trafikverkets huvudprocess "Forska och ta fram innovation" samt stödprocessen "Planera och genomföra inköp". Empirisk data från Trafikverket samt branschen samlas in via dokumentstudier, intervjuer, dialoger, observationer och databaser. Analysen av kvalitativt empiriskt material baseras huvudsakligen på internationella tillförlitlighetsstandarder (t.ex. IEC:s 60300-standarder) för att kunna relatera Trafikverkets behov och branschens lösningar till ett sammanhängande ramverk baserat på internationellt bästa överenskomna tillämpningar. Även teorier relaterade till ständiga förbättringar tillämpas för att beskriva behovet och genomförandet av förändringar. Centrala delar av dessa teorier återfinns i ledningssystemstandarder (t.ex. ISO9001 för kvalitet och ISO55001 för tillgångsförvaltning) som ger en möjlighet att stötta den praktiska tillämpningen av tillförlitlighetsstandarderna. Kvantitativ data analyseras huvudsakligen med Pivotdiagram i Excel, men även med hjälp av Trafikverkets leveransuppföljningssystem (LUPP) som tillämpas inom underhållsverksamheten. Den kvantitativa analysen baseras på logik inom Feleffektanalys (FMECA) och Funktionssäkerhetsinriktat underhåll (RCM). Denna sammanfattande projektrapport dokumenterar de sju huvudaktiviteter som ingår i förstudien:

- Genomföra invärldsanalys
- Genomföra behovsanalys
- Genomföra omvärldsanalys
- Genomföra marknadsdialog
- Ta fram upphandlingsstrategi för innovationsupphandlingen
- Skriva projektidé för att finansiera innovationsupphandlingen
- Skriva sammanfattande slutrapport och projektrapport

Genomförd invärlds- och behovsanalys visar att det på en övergripande nivå finns behov av att utveckla Trafikverkets förmåga att tillämpa innovationsupphandling inom driftsäkerhetsområdet. Det är tydligt i bl.a. Trafikverkets instruktion och regleringsbrev som betonar Trafikverkets ansvar att tillämpa innovationsupphandling samt bidra till att utveckla branschens innovationsförmåga och produktivitet, men även finansiera forskning och utveckling inom bl.a. vidmakthållandet av anläggningen. Samtidigt finns det ett flertal interna och externa granskningar, revisioner och utredningar som visar på behovet att utveckla Trafikverkets underhållsverksamhet. Det gör också att bl.a. Trafikverkets styrelse, GD och ledning har tydliga mål och risker relaterade till en digitalisering av järnvägsunderhållet. För att lyckas med en digital transformering av underhållsverksamheten krävs en ökad samordning mellan olika processer. Det för att stötta en mer dynamisk förvaltning av Trafikverkets infrastrukturregelverk och underhållsprogram som kan användas för att koppla samman verksamhetens krav och behov med teknikens snabbt växande möjligheter. Även olika ansvar för leveranser relaterade till förvaltningen av

järnvägsanläggningen på operativ, taktisk och strategisk nivå behöver samordnas med förvaltningen av regelverk, system och komponenter.

Genomförd omvärlds- och marknadsanalys visar att det finns flera informationslösningar med hög teknisk mognadsgrad som kan stötta det tillståndsbaserade underhållet. Det finns även flera nationella och utländska leverantörer som är kvalificerade och positiva till att tillhandahålla informationslösningar som stöttar Trafikverkets underhållsverksamhet. Många leverantörer har också erfarenhet av att arbeta tillsammans med Trafikverket i forsknings- eller verksamhetsutvecklingsprojekt, ibland i flera projekt och under många år. Dock är en utmaning vid implementering ofta integrationen med t.ex. Trafikverkets it-miljö, regelverk och avtal. Det gör också att många existerande lösningar riktade mot Trafikverkets behov fokuserar på produktivitetsförbättringar inom ramen för existerande regelverk. De digitala informationslösningar som adresserar mer genomgripande driftsäkerhetsförbättringar genom att utmana det existerande regelverket är färre, men delvis implementerade i andra länder. Resultaten från genomförd invärlds-, behovs-, omvärlds- och marknadsanalys ligger till grund för föreslagen upphandlingsstrategi.

Föreslagen upphandlingsstrategi är en Upphandling av nya lösningar, dvs. en innovationsupphandling där beställaren köper både utveckling och leverans i samma affär. Upphandlingen genomförs med en upphandlingsprocess i två steg, med upphandlingsförfarandet Förhandlat förfarande med föregående annonsering, och kontraktsgenomförandet är inspirerat av Innovationspartnerskap. Upphandlingen genomförs i två steg, först kvalificering och sedan utvärdering och förhandling. Kontrakten är sedan uppdelade i tre etapper där tekniklösningar först vidareutvecklas till systemlösningar och verifieras (etapp 1), demonstreras, dvs. valideras i verklig miljö (etapp 2) och därefter levereras till Trafikverket (köp, etapp 3) beroende på om och hur väl de uppfyller Trafikverkets behov och krav. Efter utvärdering och eventuell förhandling i slutet av varje etapp avgörs vilka kontrakt som ska fortsätta och vilka som ska avslutas. Parallellt sker en utveckling inom Trafikverket för att kunna köpa och implementera de utvecklade systemlösningar som finns kvar efter utvärderingen av etapp 2, dvs. efter genomförd demonstration. På detta sätt behandlas alla leverantörer lika och det finns förutsättningar att skapa en fungerande marknad där behovsbaserade informationslösningar kan upphandlas av Trafikverket och andra aktörer inom järnvägsbranschen.

Baserat på de tidigare projektaktiviteterna som beskrivs ovan formuleras en projekttid. Den anger att innovationsupphandlingen omfattar nya digitala lösningar för bättre koll på järnvägsanläggningen och ökad punktlighet. Tillämpningsområdet är tillståndsbedömning av anläggningstyperna skarvfritt spår och kontaktledning omfattande lösningar som svarar mot Trafikverkets behov på en kombination av bl.a. regelverk och teknik.

Visionen är att innovationerna bidrar till en aktiv förvaltning av en hållbar och uppkopplad anläggning baserat på dynamiska underhållsprogram och proaktiva underhållsåtgärder i anläggningen. Det omfattar både produktivitetsförbättringar inom ramen för existerande regelverk, men även driftsäkerhetsförbättringar där regelverket utmanas och det tekniska systemets funktionssäkerhet och underhållsmässighet kan förbättras.

Syftet är att digitalisera tillståndsbaserat underhåll inom järnväg för att minska trafikstörningar genom ökad kunskap om effektsamband relaterade till anläggningens degradering och underhållsåtgärder.

Det huvudsakliga målet är att genom förbättrad produktivitet och driftsäkerhet minska trafikstörningar orsakade av anläggningens tillstånd samt dess underhåll. Det uppnås genom att reducera det trafikstörande avhjälpande underhållet och förbättra det förebyggande underhållet.

Valet av de två anläggningstyperna skarvfritt spår och kontaktledning baseras på bl.a. behov samt andra pågående initiativ. Ur ett driftsäkerhetsperspektiv har de två anläggningstyperna delvis olika egenskaper som påverkar utformningen av ändamålsenliga och effektiva lösningar för tillståndsbedömning. Fördelen med att inkludera båda

anläggningstyperna är att dessa olikheter leder till att ett större antal av möjliga alternativ vid utformningen av ett förebyggande underhållsprogram måste hanteras och därmed kan bidra till ett fördjupat lärande. En förutsättning är dock att erfarenheter från respektive arbete med de två anläggningstyperna delas sinsemellan.

Sammanfattningsvis bidrar föreslagen innovationsupphandling för att digitalisera det tillståndsbaserade underhållet till en ökad förmåga att aktivt förvalta det förebyggande underhållet. Den aktiva förvaltningen baseras på ett initialt digitaliseringslyft inom det tillståndsbaserade underhållet genom denna innovationsupphandling, följt av en fortsatt digital transformering stöttad av efterföljande innovationsupphandlingar. Det möjliggörs genom en kombination av produktivitets- (att göra saker rätt och bättre) och driftsäkerhetsförbättringar (att göra rätt saker) samt ett ökat trippel-loops-lärande (att reflektera kring hur valet av vad som är rätt saker görs).



## 2 Introduktion

Trafikverket bedriver en omfattande FoI-verksamhet (Forskning och Innovation) inom ramen för sitt uppdrag att svara för forskning och innovation som motiveras av myndighetens uppgifter. Resultat från FoI-verksamheten bidrar till Trafikverkets och transportpolitikens mål genom nya lösningar och ny kunskap. Under de senaste åren har FoI-verksamheten omsatt drygt 500 miljoner kronor per år och ungefär 200 projekt startas och ungefär lika många avslutas årligen. Det är viktigt att den FoI-verksamhet som bedrivs är behovsmotiverad och att resultaten kommer till användning. Beroende på vad som omfattas så varierar uppfattning om i vilken utsträckning som FoI-resultat implementeras i Trafikverkets verksamhet, där siffror på mellan 13% (Karim & Sandberg, 2012) och 70 % (Wargsjö et al., 2019) nämns. Samtidigt har ökande kapacitetskrav på järnvägen i kombination med bristande punktlighet bidragit till ett behov av att utveckla Trafikverkets underhålls- och reinvesteringsverksamhet. Behovet har identifierats via flertalet revisioner och utredningar under en längre tid. Exempel är bl.a. SOU (2020:18) "Framtidens järnvägsunderhåll", SOU (2015:42) "Koll på anläggningen", N 2013:02 "Utredningen om järnvägens organisation", "Underhåll av järnväg" (RiR 2010:16), SOU (2010:69) "Förbättrad vinterberedskap inom järnvägen", SOU (2009:20) "Mer järnväg för pengarna" och "Vinterutredning åtgärdsprogram inom järnvägssektorn" (GD 02-111/OR40). Trafikverket har också i uppdrag via bl.a. instruktion och regleringsbrev att arbeta för ökad digitalisering samt innovation och produktivitet utveckling.

Två tidigare initiativ som fokuserar på att implementera resultat från FoI-verksamheten relaterat till digitalisering inom driftsäkerhetsområdet för järnväg är ePilot (t.ex. Karim et al., 2017, 2020) och Verklighetslabb digital järnväg (t.ex. Söderholm et al., 2019). Erfarenheten från dessa två initiativ påvisar bl.a. potentialen av att använda innovationsupphandling som ett verktyg för att stötta implementering av digitala innovationer inom driftsäkerhetsområdet för järnväg. För att bidra till ett initialt digitaliseringslyft och en fortsatt digital transformering genomförs denna förstudie (TRV 2020/39092) för innovationsupphandling av automatiserad mätning inom järnväg.



## 3 Metod och material

I detta kapitel beskrivs vilken metod som tillämpas för de olika aktiviteterna inom förstudien samt det material som används.

Genomförandet av förstudien baseras på Trafikverkets huvudprocess "Forska och ta fram innovation" samt stödprocessen "Planera och genomföra upphandling. Dessa processer definierar bl.a. vilka leveranser som ska tas fram och i viss utsträckning hur med hjälp av bl.a. Trafikverkets projektmodell (XLPM). I möjligaste mån används Trafikverkets mallar i Word för att dokumentera olika leveranser. Klassning av nivån på informationssäkerheten för upprättade dokument baseras på Trafikverkets modell för informationssäkerhet. För att praktiskt administrera projektet och hantera dokumenterat material inom projektorganisationen används Projektportalen för "Verklighetslabb digital järnväg" som är en SharePoint-lösning.

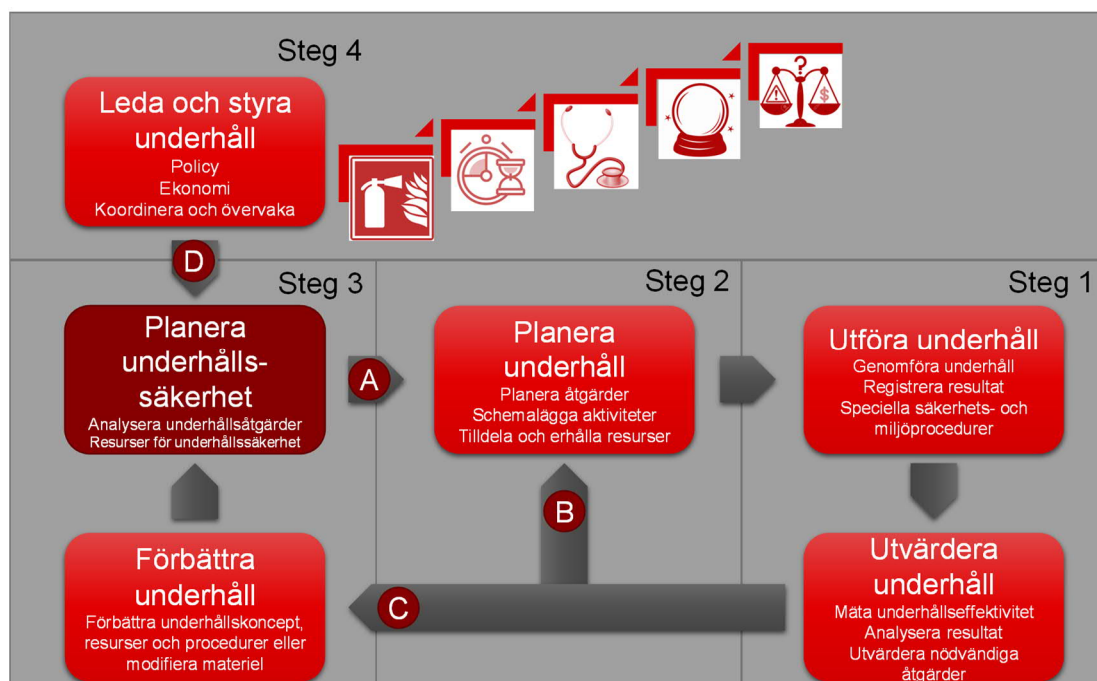
Empiriskt material från Trafikverket och branschen samlas in via observationer, intervjuer, marknadsdialoger, workshoppar samt dokument- och litteraturstudier. Bland annat används Trafikverkets intranät, arbetsrum, Dokumentcenter (styrande och vägledande dokument), databas för infrastrukturregelverk (TRVInfra), forskningsdatabas (FUDIInfo) samt system för planering, uppföljning, ledning och styrning (PULS). Även databaser för besiktningsverksamheten (Bessy), felhanteringen (Ofelia), anläggningsregistret (BIS) samt trafik- och förseningsdata (OPAL) inventeras med hjälp av underhållsverksamhetens leveransuppföljningssystem (LUPP). Då situationen med Covid-19 påverkar resor och möten tillämpas e-post och Skype för kommunikation både internt och externt. Intern kommunikation genomförs med deltagare i förvaltningen av processer, primärt relaterade till tillgångsförvaltning. Den interna kommunikationen omfattar även deltagare i leveranserna från processerna, primärt relaterade till förvaltningen av anläggningen, regelverk samt system och komponenter. Det omfattar på en övergripande nivå processer och leveranser relaterade till den generella underhållsprocessen beskriven i Figur 1. Externa aktörer som involveras i kommunikationen är primära aktörer i järnvägssystemet relaterade till en digitalisering av det tillståndbaserade underhållet, t.ex. järnvägsföretag, underhållsentreprenörer, akademi samt organisationer och företag som arbetar med mätning eller analys av anläggningens tillstånd.

### 3.1.1. Kvalitativ analys

Genomförd analys av tillämpningsområdet baseras huvudsakligen på grundläggande teorier inom tillförlitlighet (t.ex. Nowlan & Heap, 1978) och ständiga förbättringar (t.ex. Shewhart, 1931; Shewhart & Deming, 1939) eller standarder baserade på dessa teorier (IEC- respektive ISO-standarder). I och med fokus på ständiga förbättringar och inkludering av ledningssystemstandarder är även processperspektivet centralt i analysen. Utöver detta beaktas teorier om den snabba tekniska och långsammare organisatoriska utvecklingen samt det ökande gapet dem emellan för att beskriva det generella grundproblemet och möjliga strategiska lösningar (t.ex. "Martecs lag", "Moores lag" samt Deloitte, 2017). Utöver detta tillämpas även teorier om olika typer av organisatoriskt lärande för att beskriva nivåer av förbättringar för att överbrygga gapet mellan teknikens möjligheter samt organisationens förmåga (t.ex. Argyris & Schön, 1974). Kombinationen av ovanstående teorier utgör det teoretiska ramverket som stöttar analysen av kvalitativt empiriskt material. Se Figur 1 nedan.

Grunden i Figur 1 utgörs av en generell underhållsprocess från standarden SS-EN 60300-3-14 (Underhåll och underhållsstöd). Aktiviteten "Leda och styra underhåll" omfattar bl.a.

upprättande av policy, tilldelning av ekonomiska resurser samt koordinering och övervakning. Över tid har ledningen av underhåll utvecklats i fem huvudsakliga etapper (se, t.ex. Campbell & Jardine, 2001; Söderholm, 2005; Karim et al., 2016). Dessa etapper är från avhjälpande underhåll till mer förebyggande underhåll, där teknikens möjligheter har drivit en utveckling från tidsbaserat via tillståndsbaserat (diagnostik och prognostik) till ett riskbaserat underhåll. Kärnan i underhållsprocessen är planeringen av underhållssäkerheten som bl.a. resulterar i underhållsprogram med ändamålsenliga och effektiva underhållsåtgärder, t.ex. inom det tillståndsbaserade underhållet. Baserat på upprättade underhållsprogram (A i Figur 1) genomförs planering av underhållet på strategisk, taktisk och operativ nivå. Utifrån planer (förutbestämt) och tillstånd genomförs sedan det förebyggande underhållet och baserat på uppkomna funktionsfel genomförs det avhjälpande underhållet. Genomfört underhåll ska utvärderas för att identifiera förbättringsmöjligheter. Produktivitetsförbättringar (singel-loops-lärande, B i Figur 1), som genomförs inom aktiviteterna planering, genomförande och utvärdering, fokuserar på att göra saker rätt och bättre enligt gällande regelverk. Driftsäkerhetsförbättringar (dubbel-loops-lärande, C i Figur 1) fokuserar på att göra rätt saker genom förändring av regelverket (t.ex. underhållsprogrammet) eller förbättring av funktionssäkerhet och underhållsmässighet hos anläggning, system och komponenter. En reflektion över hur valet av rätt saker görs är trippel-loops-lärande (D i Figur 1), vilket har utvecklats över tid som beskrivs i anslutning till aktiviteten "Leda och styra underhåll" ovan. Erfarenhetsmässigt tenderar en digitalisering av underhållsprocessen att ske stegvis från steg 1 till steg 4 (se t.ex. Karim et al., 2017, Jägare et al., 2019; Karim et al., 2020).



Figur 1. Teoretiskt ramverk som utgör övergripande ramverk för analys av kvalitativt empiriskt material.

### 3.1.2. Kvantitativ analys

Kvantitativ data (t.ex. besiktningsdata från Bessy, felhanteringsdata från Ofelia samt förseningsdata från OPAL) samlas huvudsakligen in via LUPP (system för leveransuppföljning inom Trafikverkets underhållsverksamhet). Dessa data analyseras också delvis i LUPP, men exporteras och analyseras huvudsakligen med Pivotdiagram i Excel. En fördel med LUPP är att erhållen data utgör grunden för den löpande

verksamheten och Trafikverkets huvudsakliga leveranser inom järnväg, dvs. trafikledning av järnvägstrafik och förvaltning av järnvägsanläggningen. En utmaning med att tillämpa LUPP är att det krävs god kunskap om hur data är strukturerad för att få fram rättvisande data. Den kvantitativa analysen baseras på sammanställningar utifrån logiken i Feleffektanalys i enlighet med SS-EN 60812(FMEA och FMECA) samt kriterier för t.ex. ändamålsenlighet och effektivitet för tillståndsbaserat underhåll enligt SS-EN 60300-3-11 (RCM). Dock genomförs ingen komplett FMECA eller RCM-analys. För stegvis prioritering inför fortsatt analys tillämpas Paretoprincipen (80-20-regeln), vilket är en empirisk regel som anger att 20 procent av orsakerna ofta står för 80 procent av verkan. Kriterier för ändamålsenlighet avseende tillståndsbaserat underhåll enligt RCM är (SS-EN 60300-3-11):

- tillståndet ska vara detekterbart
- degraderingen ska vara mätbar
- Intervallet mellan potentiellt fel (felhändelse) och funktionellt fel (feltillstånd), dvs. PF-intervallet, ska vara tillräckligt långt för att möjliggöra både tillståndsovervakningsåtgärden och vidtagna åtgärder för att förhindra att ett funktionellt fel uppstår
- P-F-intervallet ska vara konsekvent

Kriterier för ett effektivt tillståndsbaserat underhåll är enligt RCM (SS-EN 60300-3-11):

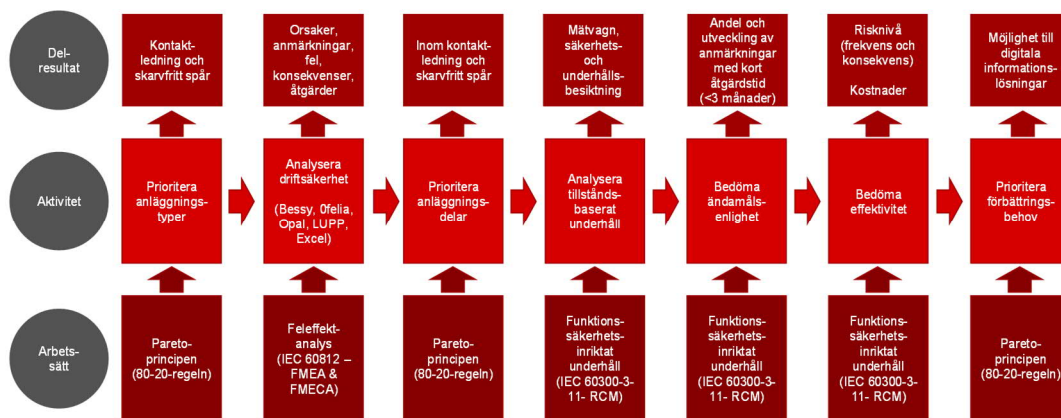
- För kritiska fel (möjlig direkt säkerhetspåverkan under planerad drift) ska sannolikheten för fel reduceras till en acceptabel nivå
- För icke-kritiska fel ska åtgärden vara kostnadseffektiv (förebyggande åtgärds kostnad är lägre än konsekvenskostnaden avseende trafik, drift och underhåll)

Ett grundläggande antagande i förstudien är att besiktningens anmärkningar med en åtgärdstid på tre eller fler månader indikerar en ändamålsenlighet då de i de flesta fall inte behöver leda till trafikstörningar. Besiktningens anmärkningar med en kortare åtgärdstid än tre månader indikerar en bristfällig ändamålsenlighet då de vanligtvis kan leda till trafikstörningar.

Exempel på steg som kan ingå i en Feleffektanalys (FMEA och FMECA) för att analysera ett tekniskt system samt dess funktioner och fel är (SS-EN 60812):

- Definiera systemgränserna för analysen
- Sammanställ systemkrav och funktioner
- Definiera funktionsfel
- Identifiera felmoder och feleffekter
- Definiera konsekvensklasser
- Identifiera frekvenser för felmoder och effekter
- Identifiera lämpliga åtgärder för att hantera fel

Driftsäkerhetsanalysen som del av behovsanalysen genomförs enligt aktiviteterna i Figur 2 nedan, som även anger relaterade arbetssätt och resultat. Dock genomförs arbetet iterativt och inte så sekventiellt som Figur 2 illustrerar.



Figur 2. Genomförande av driftsäkerhetsanalys med aktiviteter, stöttande arbetssätt och delresultat.

### 3.1.3. Reliabilitet och validitet

Reliabilitet anger noggrannheten i resultatet från en undersökning. Det innebär att reliabilitet eftersträvas för att upprepade undersökningar bör komma fram till samma resultat. Validitet anger precisionen i en undersökning och handlar om hur relevant dess resultat är. Ett resultat med god validitet måste också ha god reliabilitet, men det omvända gäller inte. Se t.ex. Zikmund (2000), Yin (2003), Gustavsson & Säfsten (2019) samt Patel & Davidsson (2019).

De rapporter och PM som upprättas för att dokumentera de olika delleranserna inom förstudien baseras på Trafikverkets motsvarande dokumentmallar i Word. Grundstrukturen för upprättade dokument följer den som vanligtvis används för vetenskapliga publikationer, dvs. Introduktion, Metod & material, Resultat & Diskussion (IMRAD). Förutom dessa skriftliga rapporter upprättas dokument i Excel och LUPP för att sammanställa kvantitativ data och analyserna av denna. Samtliga upprättade dokument och det huvudsakliga grundmaterialet sparas i Projektportalen för Verklighetslabb digital järnväg, förutom LUPP-rapporterna som sparas i själva applikationen. Material som klassas som externt publiceras dessutom i Trafikverkets forskningsdatabas FUDIInfo som är tillgänglig via Trafikverkets webbplats. Denna sammanfattande projektrapport publiceras även externt i DiVA (Digitala Vetenskapliga Arkivet). Ovanstående arbetssätt stöttar huvudsakligen resultatets reliabilitet eftersom behöriga personer kan gå igenom grundmaterial, genomförda analyser samt erhålla resultat.

Utöver detta genomförs ett antal kommunikationsinsatser, t.ex. artiklar på Trafikverkets Intranät och externa webbplats (se Eriksson, 2020, 2021a, 2021b, 2021c). Studenter vid Luleå tekniska universitet genomför även ett Sex Sigma-projekt där de utvärderar besiktningintervall för den maskinella besiktningen av spår med mätvagn på Malmbanan. Detta studentprojekt följer logiken i Sex Sigma och presenteras via Skype vid Trafikverket och i en skriftlig rapport (se Berg et al., 2020) som bl.a. finns tillgänglig via FUDIInfo. Även flera av projektets aktiviteter omfattar kommunikationsinsatser i olika omfattning, t.ex. invärldsanalys, behovsanalys, omvärldsanalys och marknadsdialog. En formell aktivitetsplan för kommunikationsinsatser inom förstudien och efterföljande innovationsupphandling upprättas också, se Eriksson (2021d). Ovanstående aktiviteter bidrar huvudsakligen till resultatets validitet. Genom en triangulering mellan olika kvalitativa och kvantitativa datakällor samt löpande kommunikation med interna och externa aktörer.

## 3.2. Invärldsanalys

När ett strategiskt inköpsarbete initieras eller när projektgruppen inser att en innovationsupphandling kommer att genomföras bör den egna verksamheten beskrivas i en invärldsanalys. Det handlar om att beskriva verksamheten i såväl siffror som text utifrån olika styrande dokument såsom strategi- och målbeskrivningar, verksamhetsplan och årsredovisning. Möjligheter och begränsningar identifieras utifrån de styrande dokumenten och tecknade avtal. Man ska dock inte glömma begränsningar och restriktioner som är väl kända, men normalt inte lyfts fram i styrdokument. (Upphandlingsmyndigheten, 2018)

Det behövs en målbild som beskriver vad som ska åstadkommas i någon sorts funktionella termer. Målbilden är inte konstant under projektets gång, utan blir allt mera konkretiserad och tydlig under projektets gång. Det innebär att målbilden kontinuerligt detaljeras fram till påskrivet avtal. Dock är det viktigt att hålla riktningen och målen bör inte förändras under hela projektet. (Upphandlingsmyndigheten, 2018)

Trender och utvecklingsområden som är kopplade till den egna verksamheten bör kartläggas och analyseras. Utifrån framtaget underlag och diskussioner inom projektet bör målbild och vision formuleras. I dialoger med olika intressenter testas idé och målbild, och därtill kartläggs olika perspektiv som är kopplade till projektet. (Upphandlingsmyndigheten, 2018)

Invärldsanalysen kan vara mer eller mindre komplex, men oberoende av storlek är den en förutsättning för en lyckad innovationsupphandling. Det bör framhållas att för ett mindre projekt där endast en verksamhet berörs kan analysen vara kortfattad. (Upphandlingsmyndigheten, 2018)

Syftet med en invärldsanalys är att sätta projektet i ett sammanhang, men också att alla som arbetar med projektet ska förstå projektets förutsättningar. Dessutom får de en övergripande bild av beroenden av exempelvis it, andra upphandlingar eller andra utvecklingsprojekt. Dessa beroenden bör specificeras inför en eventuell upphandling och då bör gränssnitten definieras och hanteras. (Upphandlingsmyndigheten, 2018)

Invärldsanalysen är därtill viktig utifrån ett förankringsperspektiv och ger inspiration till ett eventuellt värdeerbjudande i en framtida innovationsupphandling. Invärldsanalysen ligger också till grund för kommande behovsarbete. (Upphandlingsmyndigheten, 2018)

### 3.2.1. Arbetssätt och verktyg för invärldsanalys i relation till Trafikverkets verksamhet

Det finns ett antal olika möjligheter att genomföra en invärldsanalys på. Det är bl.a. syftet och omfattningen som avgör vad som är ett lämpligt val av arbetssätt och verktyg. Exempel på arbetssätt och verktyg är (Söderholm, 2020b):

- SIQ:s (Swedish Institute for Quality) modell för kundorienterad verksamhetsutveckling för att kartlägga och bedöma organisationens kvalitetsarbete.
- Mognadsbedömning enligt t.ex. ISO55000 (Tillgångsförvaltning) för att identifiera organisationens mognadsgrad.
- SWOT-analys (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) för att identifiera interna styrkor och svagheter (samt externa möjligheter och hot som kan ingå i omvärldsanalysen)

- Kontinuitetsanalys för att identifiera t.ex. aktiviteter, resurser samt it-lösningar som är relaterade till en kritisk verksamhet.
- Tjänstekartläggning kan användas för att identifiera värdenätverk som krävs för att tillhandahålla en tjänst.

De flesta analyserna ovan bedöms vara för omfattande för att tillämpa inom denna invärldsanalys. Dock kan redan genomförda analyser enligt ovan inom Trafikverket utgöra bra källmaterial att använda. Gemensamt för ovanstående arbetssätt är att processer är centrala. Således utgår genomförd invärldsanalys från Trafikverkets processkarta. En fördel med detta är att analysen utgår från kunden och dess behov samt att resurser och aktiviteter som bidrar till leveransen synliggörs, men även att redan genomförda analyser enligt ovan kan relateras till något gemensamt. Att identifiera interna intressenter via processerna utgör även en bra grund för att i samband med efterföljande behovsanalys tillämpa kontinuitetshantering för att identifiera och prioritera kritiska resurser. För en dokumentation av genomförd invärldsanalys hänvisas till Söderholm (2020b).

För att identifiera projekt inom Trafikverkets verksamhet som är relaterade till innovationsupphandlingen används ett PM som sammanfattar pågående digitaliseringsinitiativ relaterat till övervakning av anläggningen, se Söderholm (2019). Denna inventering baseras på fyra delar (Söderholm, 2019):

- Verksamhetsutvecklingsprojekt som är komplexa och/eller över 3 MSEK genom en sökning i Trafikverkets databas Project Server PS+.
- FOI-projekt genom separata sökningar i Trafikverkets forskningsdatabas FUDIInfo med sökorden "digital", "övervakning" och "tillstånd".
- Examensarbeten vid Trafikverket registrerade i arbetsrum för detta.
- Nätverk etablerade inom projekten "Strategi och grund för övervakning av anläggningen" samt "Verklighetslabb digital järnväg".

### 3.3. Behovsanalys

Varje upphandling genomförs för att möta behov. Behovsarbetet är en central del i förarbetet inför en upphandling och arbetet bör utgå från projektets vision och målbild. Vid en innovationsupphandling är det viktigt att ta sig tid för behovsarbetet, för en genomtänkt metodik ger ofta ett resultat med kvalitet. Det lönar sig att återkomma till såväl målbild som sina genomarbetade behov under exempelvis marknadsdialoger, kravställning och formulering av utvärderingsmodell. För att genomföra en innovationsupphandling med lyckat resultat är det högst väsentligt med ett väl genomfört behovsarbete. Behovsarbetet kan delas in i fem steg (Upphandlingsmyndigheten, 2018):

1. Inventera – insamling av behov
2. Identifiera – beskriva och formulera behov
3. Selekttera – välja ut behov som ska prioriteras
4. Analysera – förtydliga, begränsa och detaljera
5. Verifiera – bekräfta att behoven finns och tillse att de formulerats korrekt

Behovsinventeringen har förmodligen startat redan när idén uppkommer och sedan fortsatt under invärldsanalysen. Behovsinventeringen bör göras brett, men givetvis kan inventeringen begränsas till en viss funktion, plats eller liknade. Det kan vara fler än ett verksamhetsområde som berörs, direkt eller indirekt och på kort eller lång sikt. Det är

därför fördelaktigt att arbeta i tvärprofessionella grupper. (Upphandlingsmyndigheten, 2018)

Inventering och identifiering kan utföras parallellt och vid samma tillfällen. Behoven kan exempelvis identifieras genom gapanalyser som är kopplade till nuläge kontra önskat läge, hearing, workshop eller diskussion i fokusgrupper, eller genom att ställa frågor till de tvärprofessionella grupperna via intervjuer. (Upphandlingsmyndigheten, 2018)

Efter det att en identifikation görs är det oftast nödvändigt med en selektion. Bland de identifierade behoven väljs de behov ut som är rimliga att analysera. Behovsanalysen är nämligen resurskrävande och det är därför i många fall nödvändigt att redan tidigt bestämma vilka identifierade behov som förefaller rimliga att analysera vidare. För att välja ut behoven får man använda tillgängliga kunskaper. Kan man anta att behovet kommer att avta över tid? Förefaller problemställningen överväldigande, svår och kostsam? Är det känt att det redan pågår ett utvecklingsarbete? (Upphandlingsmyndigheten, 2018)

Det bör påpekas att behovsinventering och behovsidentifiering ofta kan sträcka sig över ett mycket vidare område än det som omfattas av en upphandling av något slag. Behovsidentifieringen kan visa att ett visst behov kanske snarast är något som kan åtgärdas med verksamhetsutveckling. (Upphandlingsmyndigheten, 2018)

Under behovsanalysen bearbetas behoven och beroenden kartläggs. Behovsformuleringarna förfinas och begränsas, samtidigt som de grupperas och paketeras för olika ändamål. I detta skede måste behoven operationaliseras och kläs i mätbara begrepp. De begränsningar som gäller behöver också tydligt redovisas. De kan exempelvis gälla kostnader, bieffekter, kompatibilitetskrav, fysiska begränsningar och lagkrav. (Upphandlingsmyndigheten, 2018)

Verifiering är ett viktigt element. I alla projekt finns det en risk att man uppfylls av en inre logik, att alla deltagare efter en tid får samma bild. Det finns två orsaker till att projekten alltid bör innehålla en projekttextens verifiering av behovsanalysen (Upphandlingsmyndigheten, 2018):

- Säkerställa att den upphandlande myndigheten initierar rätt innovationsarbete för egen del. Genom att gå utanför den egna projektgruppen får man in personer som med nya ögon ser hur behoven beskrivs. Det kan vara personer inom den upphandlande myndigheten eller personer som arbetar med liknande uppgifter i en annan upphandlande myndighet. Att de som blir ombedda att verifiera en behovsanalys kritiserar denna, behöver inte betyda att behovet inte finns eller är oviktigt, men kritik är en mycket viktig varningsklocka. Om inte externa bedömare delar beskrivningen i behovsanalysen finns det starka skäl att fördjupa behovsanalysen.
- Göra behovsanalysen trovärdig för innovativa företag. Vid en innovationsupphandling är ju tanken att innovativa företag ska vara beredda att satsa på att möta uppställda krav. Men för att ett innovativt företag ska vara berett att själv satsa resurser är behovsbeskrivningens trovärdighet viktig. Genom en extern verifiering av behovsanalysen indikerar den upphandlande myndigheten att det finns en bredare efterfrågan, även utanför den egna myndigheten.

Under analysen identifieras både interna och externa grupper som kan nyttjas för att verifiera behovsanalysen. Analys- och verifieringssteget i behovsarbetet är ett tydligt iterativt steg. Behovsarbetets första delar ligger till grund för marknadsdialogen, men dialogen är också grundläggande för att färdigställa behovsarbetet. (Upphandlingsmyndigheten, 2018)

### 3.3.1. Behovsanalys enligt Trafikverket

Trafikverket beskriver behovsanalys i riktlinjen "Innovativt förhållningssätt i Trafikverkets upphandlingar".

I det första steget identifierar beställaren vilket eller vilka behov som behöver tillgodoses. Det rör sig i detta tidiga skede inte om att identifiera tänkbara produkter utan snarare att kunna bortse från produkter för att endast fokusera på behovet. Behovsidentifieringen ska utmynna i ett klart uttryckt och avgränsat behov som på något sätt behöver tillgodoses. Redan i detta skede ska central funktion "Inköp och logistik" involveras.

I nästa steg ska det identifierade behovet analyseras och struktureras och utifrån Trafikverkets förutsättningar att lösa behovet på bästa sätt. Här bör Trafikverkets fyrstegsprincip beaktas.

I det tredje steget ska det identifierade behovet struktureras och beskrivas på ett tydligt sätt så att potentiella leverantörer förstår vad som efterfrågas. Relevanta förutsättningar och begränsningar som har identifierats bör även redovisas på ett tydligt sätt för att ge potentiella leverantörer ramar som de behöver förhålla sig till för att utveckla innovationen. Det blir lättare att förstå ramarna om det också går att beskriva övergripande strategiska mål som bör uppnås genom upphandlingen. Det kan exempelvis handla om kvalitet, pris eller hållbarhet.

### 3.3.2. Arbetsätt och verktyg för behovsanalys i relation till Trafikverkets verksamhet

Som utgångspunkt för behovet används rapporter från externa och interna granskningar, revisioner och utredningar, men även erfarenheter från projekt som "Verklighetslabb digital järnväg" och "ePilot". Med detta som utgångspunkt genomförs workshoppar med deltagare från Trafikverket. Även kvantitativ data inhämtas och analyseras för att beskriva behovet. Dessa kvantitativa data omfattar bl.a. besiktningsdata från Bessy, felhanteringsdata från ofelia samt trafik- och störningsdata från OPAL som hämtas via leveransuppföljningssystemet LUPP (se Söderholm 2021a-f). Analysen av dessa kvantitativa data i LUPP och Excel beskrivs i avsnittet 3.1.1 (Driftsäkerhetsanalys).

Vid workshopparna deltar intressenter inom Trafikverket med kompetens inom bl.a. regelverk, inköp, juridik, forskning samt operativ, taktisk och strategisk förvaltning av anläggningen. Verksamhetsmässigt fokuserar den första workshopen på tillståndsbaserat underhåll relaterat till spår och kontaktledning. De 19 deltagarna delas in i fyra jämnstora grupper utifrån olika kompetenser för att få en heterogen sammansättning.

Bedömningen struktureras utifrån Trafikverkets mall för nyttovärdering av verksamhetsutvecklingsprojekt (TMALL 0506). Inom mallen bedöms de tre områdena "Angelägenhet", "Genomförbarhet" samt "Risk- & Hinderanalys". Bedömningen genomförs gruppvis för vart och ett av de tre områdena med efterföljande gemensam diskussion. Avslutningsvis genomförs en gemensam och sammanfattande diskussion.

Resultatet från de fyra gruppernas enskilda mallar sammanställs i ett PM som sedan skickas till deltagarna för ytterligare synpunkter och kompletteringar. Se Söderholm (2020a).

De efterföljande workshopparna fokuserar på innehållet i en kravspecifikation samt bedömningskriterier som del av den planerade innovationsupphandlingen. Resultaten från dessa workshoppar sammanställs i en förädlad kravspecifikation samt andra upphandlingsdokument som sparas i Projektportalen för "Verklighetslabb digital järnväg".



### 3.4. Omvärldsanalys

Omvärldsanalysen baseras till stor del på erfarenheter från projekten "Verklighetslabb digital järnväg" och "ePilot", men även löpande kontakter och marknadsdialoger som projektgruppen genomför. Även erfarenhet från initiativ som "Uppsamt", "Funktionella system Stockholm", "Tillsammans för tåg i tid" (TTT) samt "Shift2Rail" (S2R) beaktas inom ramen för omvärldsanalysen.

ePilot är ett initiativ av Trafikverket där ett stort antal andra intressenter inom järnväg deltagit. Syftet med initiativet är att skapa en plattform för branschsamverkan för att förbättra och utveckla drift och underhåll inom hela järnvägssystemet. Denna plattform baseras på ett koncept för informationslogistik och dataanalys för diagnostik och prognostik relaterat till järnvägsverksamhet och en generell underhållsprocess. Konceptet heter e-underhåll och har utvecklats av Järnvägstekniskt centrum (JVTC) vid Luleå tekniska universitet (LTU). Uppdraget är att tillhandahålla en gemensam innovationsplattform som möjliggör operativ spetskompetens för järnvägens ekosystem genom e-underhåll och industriell AI. Visionen är att möjliggöra ett robust och digitaliserat järnvägssystem i Sverige som är attraktivt, säkert och effektivt. Målet är att implementera relevanta forsknings- och utvecklingsresultat i järnvägssystemet och därigenom bidra till förbättrad tillförlitlighet, punktlighet och hållbarhet inom järnvägen samt förbättrad kostnadseffektivitet inom drift och underhåll. (Karim et al., 2017; Karim et al., 2020)

Under hösten 2020 ordnade branschsamarbetet "Tillsammans för tåg i tid" (TTT) en AI-dialog mellan järnvägsbransch och AI-leverantörer. TTT:s AI-dialog skapas för att försöka tänka på nytt sätt kring gamla problem. Syftet med AI-dialogen kan summeras till att (JBS, 2020):

- Samla behoven och potentialer som finns inom branschen och visa dessa för både järnvägsbransch såväl som för potentiella leverantörer.
- Påvisa potentialen i befintliga lösningar och kompetens för att därigenom öka genomförandekraften och höja punktligheten.
- Inspirera till ökad innovationskraft inom befintliga problemområden.

Upplägget för TTT:s AI-dialog har tre delar. Den första delen är en tankesmedja där branschens behov fångades upp. Den andra delen är en leverantörsdialog där lösningar och idéer diskuteras. Den tredje delen är en gemensam dialog där de två tidigare perspektiven möts. Dialogen avslutades i december 2020. (JBS, 2020)

För en sammanfattning av omvärldsanalysen hänvisas till Söderholm (2020d).

### 3.5. Marknadsdialog

Det finns många syften med marknadsanalysen inför en innovationsupphandling men det främsta är att utreda om det finns möjliga lösningar som möter beställarens behov och att fastställa hur mogen marknaden är (antal aktörer/leverantörer som visar intresse för att utveckla lösningar). Marknadsanalysen kan även innefatta kontakter med andra beställare och myndigheter i Sverige och utomlands med värdefulla erfarenheter.

Viktiga frågeställningar att besvara genom marknadsanalysen och –dialogen är:

- Vilka potentiella aktörer/leverantörer finns, i Sverige och i övriga Europa/världen?
- Har de intresse och kapacitet/förmåga att utveckla (nya) lösningar på beställarens behov?

- Om det inte finns intresse: behöver beställaren vidta åtgärder för att skapa drivkraft för aktörer att delta, t.ex. inkludera ett köp av nya lösningar i upphandlingen (via en upphandling av nya lösningar köpa både utvecklingen och de nya lösningarna i samma affär), eller kommunicera den potentiella affären (mängder m.m.) efter kommersialisering av de utvecklade (nya) lösningarna (komplettera förkommersiell upphandling med en strategisk kommunikation)?
- Finns det lösningar på beställarens behov? Vilka idéer om lösningar finns? Vilka lösningar finns som helt eller delvis svarar mot beställarens behov? Hur stort utvecklingsarbete krävs för att skapa lösningar på beställarens behov?
- Vad kan kostnaden för (nya) lösningar på beställarens behov uppskattas till?

Marknadsanalysens viktigaste del är marknadsdialogen. Den tidiga dialogen med marknadsaktörer informerar och förbereder dem på beställarens behov och den planerade innovationsupphandlingen, och än viktigare, ger Trafikverket svar på viktiga frågeställningar (som ovan) samt hur innovationsupphandlingen bör utformas för att skapa rätt förutsättningar för marknaden att utveckla lösningar på Trafikverkets behov (val av upphandlingsstrategi). Marknadsanalysen och –dialogen bör även ge Trafikverket underlag till att kunna göra en ekonomisk kalkyl, riskanalys och en realistisk tidplan för den kommande innovationsupphandlingen.

Behovsanalysen och en informativ beskrivning av Trafikverkets behov är en nyckel för en värdeskapande marknadsdialog. Ett första steg i dialogen kan, men behöver inte, vara en bred inbjudan till ett informationsmöte där Trafikverket beskriver behovet och planen framåt, t.ex. processen för innovationsupphandling. Det är viktigt att marknadsaktörerna har möjlighet att förbereda sig inför dialogen. Detta kan ske genom att Trafikverket skickar ut en inbjudan till dialogmöten som innehåller både en tydlig behovsbeskrivning och de frågeställningar som Trafikverket vill att dialogmötena ska behandla eller besvara.

Marknadsdialogen kan ske både muntligt och skriftligt, dock rekommenderas muntlig dialog som genomförs som enskilda möten med respektive aktör. Annars finns flertalet andra dialogformer att välja mellan, t.ex.:

- Personlig kontakt via epost, telefon eller mässor
- Skriftlig "dialog" i form av ett brev med beskrivning av behovet och en sammanställning av skriftliga frågor som aktörerna ska svara på (s.k. RFI, Request For Information), vilket kan annonseras via upphandlingssystemet och/eller skickas ut på ett strukturerat sätt till marknadsaktörer .

Det man bör tänka på vid planering och genomförande av marknadsdialoger är de upphandlingsrättsliga principerna, t.ex. likabehandling och icke-diskriminering så att inte någon marknadsaktör genom dialogen får en otillbörlig fördel gentemot andra.

Resultatet från marknadsanalysen och –dialogen dokumenteras i en marknadsbeskrivning. Denna beskriver bl.a. potentiella marknader och aktörer, hur väl olika lösningar möter behovet, hur stort behovet av utveckling är och/eller om det helt saknas lösningar på behovet samt vilket intresse som finns på marknaden. Den bör även innehålla formuleringar som ger ett underlag för efterföljande kostnad-värde-analys, ekonomisk kalkyl, riskanalys, val av upphandlingsstrategi och andra taktiska val.

Ytterligare information om marknadsanalys finns i Upphandlingsmyndighetens skrift "Förutsättningar och möjligheter för innovationsupphandling" eller deras webbplats. Trafikverkets har också ett stöddokument (TDOK 2017:0520) som i kapitel 3.2 (s. 7-8)

beskriver marknadsanalysen och –dialogen. Trafikverket har även en "checklista" för tidig marknadsdialog.

### 3.5.1. Arbetssätt och verktyg för marknadsanalys relaterad till Trafikverkets verksamhet

Externa aktörer som involveras i marknadsdialogen identifieras primärt via en triangulering av tidigare initiativ som ePilot, Verklighetslabb digital järnväg och TTT:s AI-dialog. Även externa parter som kontaktar Trafikverket direkt och har lösningar som är relaterade till innovationsupphandlingen involveras i marknadsdialogen. Marknadsdialogen genomförs primärt via Skype-möten men även via e-post. Möten via Skype dokumenteras i Trafikverkets mall för tjänsteanteckningar. Anteckningar och presentationer från de mer formella marknadsdialogerna med externa parter sparas i Projektportalen för Verklighetslabb digital järnväg.

Utöver de mer formella mötena inom ramen för marknadsdialogen informeras externa parter via e-brev och telefonsamtal vid direkta förfrågningar. Dessa förfrågningar baseras bl.a. på kommunikationsinsatser via t.ex. webbplats för Verklighetslabb digital järnväg, i samband med TTT:s AI-dialog och aktiviteter vid Järnvägstekniskt centrum (JVTC). Allmän information som lämnas om förstudien och innovationsupphandlingen och dess förstudie återfinns på webbplatsen för Verklighetslabb digital järnväg samt Trafikverkets forskningsdatabas FUDInfo via Trafikverkets webbplats.

Marknadsdialogerna delas upp i tre huvudsakliga delar och genomförs som en dialog utifrån frågor och inspel som uppstår inom respektive del. Den första delen består i en beskrivning av innovationsupphandling samt hur förstudien relateras till denna. Den andra delen består av en beskrivning av det specifika tillämpningsområdet för den aktuella innovationsupphandlingen. Avslutningsvis presenterar den externa parten sin organisation och potentiella lösningar på Trafikverkets behov.

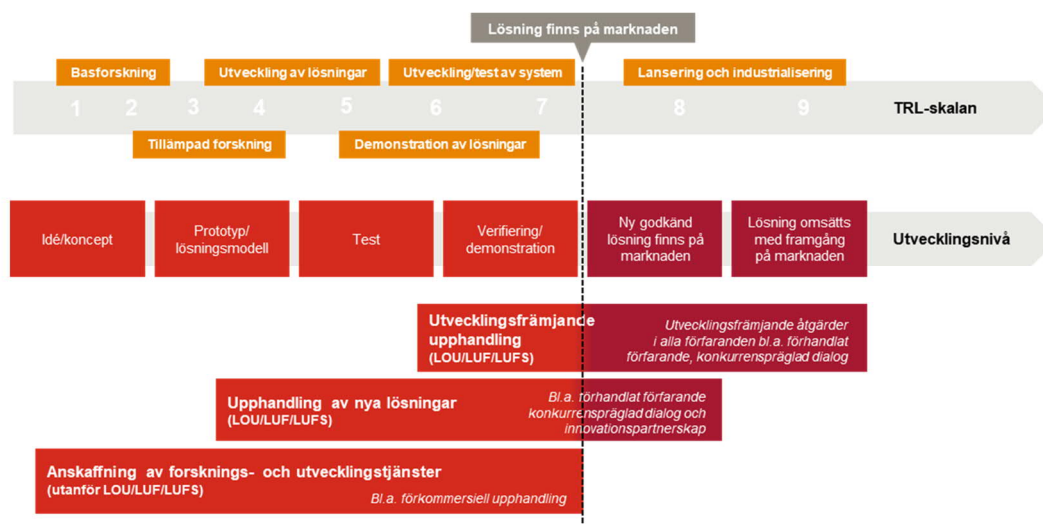
De frågeområden som berörs under den inledande marknadsdialogen är:

- Är ni en potentiell aktör/leverantör till Trafikverket?
- Har ni intresse och kapacitet/förmåga att utveckla (nya) lösningar på Trafikverkets behov?
- Om det inte finns intresse - vilka åtgärder ska Trafikverket vidta för att skapa drivkraft för er att delta?
- Har ni lösningar på Trafikverkets behov? Vilka idéer om lösningar finns? Vilka lösningar finns som helt eller delvis svarar mot Trafikverkets behov? Hur stort utvecklingsarbete krävs för att skapa lösningar på Trafikverkets behov?
- Vad kan kostnaden för (nya) lösningar på Trafikverkets behov uppskattas till?
- Agerar ni enskilt eller tillsammans med någon annan aktör för att leverera lösningar?

De olika lösningarna som presenteras av potentiella leverantörer klassificeras utifrån vilka faser av underhållsprocessen de adresserar samt deras nivå av förbättring, dvs. produktivitetsförbättring (singel-loops-lärande), driftsäkerhetsförbättring (dubbel-loops-lärande) eller trippel-loops-lärande. Även vilken eller vilka anläggningstyper som lösningarna fokuserar på är centralt.

### 3.6. Upphandlingsstrategi

De tre huvudsakliga möjligheterna som finns för val av upphandlingsstrategi inom ramen för innovationsupphandling återges i Figur 3 nedan. Ett alternativ är anskaffning av forsknings- och utvecklingstjänster med bl.a. metoden förkommersiell upphandling. Ett annat alternativ är upphandling av nya lösningar med bl.a. de tre förfarandena konkurrenspräglad dialog, innovationspartnerskap och förhandlat förfarande. Ett tredje alternativ är utvecklingsfrämjande upphandling genom utvecklingsfrämjande åtgärder i alla förfaranden, bl.a. konkurrenspräglad dialog och förhandlat förfarande. Anskaffning av forsknings- och utvecklingstjänster sker utanför LOU (Lagen om offentlig upphandling), LUF (Lagen om upphandling inom försörjningssektorerna) och LUFS (Lagen om upphandling på försvars- och säkerhetsområdet), medan de två andra formerna av innovationsupphandling sker inom dessa lagar. Upphandlingsstrategi väljs utifrån resultatet från de genomförda iterativa aktiviteterna invärldsanalys, behovsanalys, omvärldsanalys samt marknadsanalys och marknadsdialog.



Figur 3. Olika typer av innovationsupphandling i relation till olika typer av forskning och TRL-skala (Technology Readiness Level).

### 3.7. Projektidé

Utifrån föregående projektaktiviteter (invärlds-, behovs- och omvärldsanalys samt inledande marknadsdialog) formuleras en projektidé som dokumenteras i Trafikverkets blankettmall för "Ansökan – Förslag anskaffning FOI-tjänster". (Söderholm et al., 2021)

Projektidén bearbetas av projektgruppen, förankras i delar av referensgruppen och godkänns av styrgruppen. Efter detta ligger projektidén till grund för beslut i portföljstyrelsen för FOI-portföljen Vidmakthålla avseende finansiering av den föreslagna innovationsupphandlingen. Både projektets styrgrupp och portföljstyrelsen för FOI-portföljen beslutar om genomförande av innovationsupphandlingen i enlighet med upprättad projektidé.

### 3.8. Slutrapport och projektrapport

Den formella slutrapporten baseras på existerande mall i enlighet med Trafikverkets projektmodell (XLPM). Den formella slutrapporten beskriver projektets genomförande med avseende på tid, kostnad och innehåll i enlighet med Trafikverkets projektmodell. Se Morant & Söderholm (2021).

Den sammanfattande projektrapporten baseras på Trafikverkets mall för generella rapporter i Word. Den sammanfattande projektrapporten fokuserar mer på innehållet samt hur det har uppnåtts och följer grundstrukturen för vetenskapliga publikationer, dvs. Introduktion, Metod & material, Resultat & Diskussion (IMRAD). Övriga leveranser i projektet utgör underlaget till den sammanfattande projektrapporten.

## 4 Resultat

I detta kapitel beskrivs det resultat som genereras genom tillämpad metod och material i relation till förstudiens huvudaktiviteter.

### 4.1. Invärldsanalys

En ersättning av existerande manuell mätning och komplettering av existerande maskinell mätning med automatiserad mätning ändrar inte Trafikverkets processer och dess ingående aktiviteter. Det som ändras är hur dessa aktiviteter genomförs, vilket inom Trafikverket definieras i aktiviteten "Ta fram underhållsstrategier" som resulterar i leveransen underhållsstrategier. I denna aktivitet tas strategier fram för att säkerställa att den befintliga järnvägsanläggningen lever upp till de krav som ställs, strategier som konkret beskriver bl.a. hur dessa krav ska nås (TDOK 2017:0372). Underhållsstrategier tas fram på olika nivåer; för järnvägsanläggningen i dess helhet, eller för en avgränsad del av järnvägsnätet, till exempel för en sträcka eller för ett visst teknikområde (TDOK 2017:0372). Trafikverkets aktivitet "Ta fram underhållsstrategier" skiljer sig från beskrivningen i befintliga standarder. Detta innebär att Trafikverkets tillämpning av "Ta fram underhållsstrategier" huvudsakligen utgör en delmängd av standardprocessens aktivitet "Planera underhållssäkerhet" och inte dess aktivitet "Leda och styra underhåll". Oavsett så bedöms kärnan i förstudien vara denna aktivitet, där verksamhetens behov, krav och förväntningar samt motsvarande tekniska möjligheter kan kopplas samman för att uppnå effektiva och ändamålsenliga lösningar avseende automatiserad mätning.

I dagsläget finns inte några etablerade arbetssätt och verktyg för att ta fram underhållsstrategier inom huvudprocessen. Inom programmet "Tillgångsförvaltning" finns en mall för tillgångsstrategier framtagen och även tillämpad inom några piloter på väg och järnväg. Tolkningen är att underhållsstrategierna utgör en delmängd av tillgångsstrategierna. Spårssystem har även tagit fram ett underhållsprogram, baserat på internationella tillförlitlighetsstandarder och aktuell tillämpning.

Inom stödprocessen "Hantera system- och komponentutveckling" finns instruktion (TDOK 2019:0262) och mall (TMALL 0967) för genomförande av Feleffektanalys (FMECA, Failure Modes, Effects and Criticality Analysis), vilket kan användas som stöd i arbetet med att ta fram ett underhållsprogram. Detta har genomförts inom ramen för projektet "Verklighetslabb digital järnväg" med tillämpning på växelvärm (Granström, 2019; Granström et al., 2019), men även inom andra initiativ med fokus på t.ex. vägskyddsanläggning (Trafikverket, 2009; Granström, 2009; Granström, 2012). Tillämpning av Funktionssäkerhetsinriktat underhåll (RCM, Reliability Centered Maintenance), vilket kan ses som en utökning av FMECA med målet att ta fram ett förebyggande underhållsprogram har också tillämpats på spårväxlar på Malmbanan (Nyberg et al., 2012a; Söderholm & Nilsen, 2017) samt larm- och passagesystem (Nyberg et al., 2012). Tillämpningen av RCM lyfter även fram behovet av att komplettera analysen med en barriäranalys vid förändringar av delar i ett underhållsprogram som omfattar funktioner som är väsentliga för trafiksäkerhet inom järnväg.

I PS+ finns 62 projekt som är idéer eller har fått TG2-beslut. Till detta kommer ett antal avslutade och arkiverade projekt. 18 utav de 62 projekten bedöms vara nära relaterade till digital övervakning av anläggningen. (Söderholm, 2019).

I FUDIInfo identifieras totalt 121 projekt med de tre sökorden "digital", "övervakning" respektive "tillstånd", varav 58 träffar bedöms vara relevanta (se Tabell 1). Notera att det

finns några projekt som återfinns i mer än en sökning, så antalet unika projekt är färre än totala antalet träffar. (Söderholm, 2019)

Tabell 1. Registrerade projekt i Trafikverket forskningsdatabas FUDInfo som är relaterade till automatiserad mätning (Söderholm, 2019).

Sökord	Antal träffar	Relevanta träffar	Bilaga (Söderholm, 2019)
Digital	46	20	2
Övervakning	20	8	3
Tillstånd	55	30	4

Genom etablerade nätverk inom projektverksamhet identifieras ytterligare initiativ som komplement till de som identifieras via PS+ och FUDInfo. Även åtta examensarbeten som bedömdes relevanta identifieras via en inventering av arbetsrum för registrering av dessa. Initiativ som kan klassas som förvaltning och ständiga förbättringar ingår i inventeringen endast om de återfinns i någon av ovanstående kategorier. (Söderholm, 2019)

## 4.2. Behovsanalys

Resultatet från behovsanalysen delas in i ett övergripande behov, valda anläggningstyper, resultat från workshoppar samt genomförd driftsäkerhetsanalys.

### 4.2.1. Övergripande behov

Motivet till innovationsupphandlingen baseras bl.a. på ett påtalat behov via granskningar, utredningar och revisioner. Exempel på detta är bl.a. SOU (2020:18) "Framtidens järnvägsunderhåll", SOU (2015:42) "Koll på anläggningen", N 2013:02 "Utredningen om järnvägens organisation", "Underhåll av järnväg" (RiR 2010:16), SOU (2010:69) "Förbättrad vinterberedskap inom järnvägen", SOU (2009:20) "Mer järnväg för pengarna" och "Vinterutredning åtgärdsprogram inom järnvägssektorn" (GD 02-111/OR40).

Behovet av innovationsupphandlingen finns även tydligt angett av Trafikverkets uppdragsgivare. Som exempel framgår i Trafikverkets instruktion (SFS 2010:185) att (2 § 10 pkt.) Trafikverket ska "i sin roll som beställare särskilt verka för att produktivitet, innovation och effektivitet på marknaderna för investeringar, drift och underhåll ökar". Vidare framgår att (3 §) "Trafikverket ska samverka med andra aktörer och därvid vidta åtgärder i syfte att nå de transportpolitiska målen. De åtgärder som vidtas ska på ett effektivt sätt bidra till måluppfyllelsen."

Utöver detta är behovet även prioriterat av Trafikverkets ledning. Exempel på detta är att Trafikverkets styrelse har uttalat att uppfyllnad av Inköspolicy ska öka, vilket innebär t.ex. att driva marknadsutveckling och använda upphandling som strategiskt verktyg för att nå Trafikverkets mål och omställning, som exempelvis till uppkopplad anläggning i ett hållbart samhälle. Ett prioriterat mål som rapporteras till Trafikverkets styrelse är att Trafikverkets digitala anläggningsinformation ska göra nytta i transportsystemet. Ett annat prioriterat mål som rapporteras till Trafikverkets styrelse är att hålla utlovad leverans i järnvägssystemet, vilket mäts genom störningstimmar järnväg. Ett uppdrag från Trafikverkets GD är skarpare styrning och framdrift i arbetet med samlad kunskap om anläggningarnas tillstånd. Behovet kan även relateras till risker där Trafikverkets styrelse eller GD är riskägare. (Se bl.a. Trafikverkets system för planering, uppföljning, ledning och styrning, PULS).

Ytterligare en orsak till behovet av innovationsupphandlingen är en ökad trafikering (ökad nedbrytning av anläggningen), vilket bl.a. kan ses i sammanställningar från både Trafikanalys och Trafikverket. En annan relaterad orsak är minskad möjlighet att på ett säkert och kostnadseffektivt sätt genomföra manuell tillståndsbedömning och åtgärder baserade på anmärkningar. Detta beror bl.a. på brist på tid i anläggningen, brist på kvalificerad personal och genereringen av en stor mängd anmärkningar vid enskilda besiktningar med mätvagnen som leder till ojämn arbetsbelastning för entreprenören (som i samband med detta även måste hantera brist på tid i spår och tillgång på kvalificerad personal).

Utöver detta finns ett ökat tryck från bl.a. operatörer och leverantörer som anser att Trafikverket ska göra mer för att ta tillvara möjligheterna med den tekniska utvecklingen. Det indikeras exempelvis via upprättade rapporter hos organisationer, samverkan mellan GD och VD, JBS (Järnvägsbranschens samverkansforum), TTT (Tillsammans för tåg i tid) och inkomna projektförslag till FoI-portföljerna. Ett annat exempel är operatörer och leverantörer som kontakter flera olika delar inom Trafikverket för att komma framåt med utvecklingen av lösningar.

#### 4.2.2. Valda anläggningstyper

Anläggningsmässigt avgränsas innovationsupphandlingen till skarvfritt spår och kontaktledning. Motivet till detta val beskrivs nedan.

Ett motiv är att de har kompletterande egenskaper ur ett driftsäkerhetsperspektiv, vilket beskrivs med utförligt i samband med driftsäkerhetsanalysen av respektive anläggningstyp. Ett annat motiv är att de är kritiska system, både ur ett trafik-, drift- och underhållsperspektiv, men kräver delvis olika och kompletterande hantering utifrån sina respektive driftsäkerhetsegenskaper. Det genererar ett kompletterande behov som kräver en större kompetensutveckling som kan uppnås genom innovationsupphandlingen.

De valda anläggningstyperna representerar även infrastrukturen i de två kritiska gränssnitten mot fordon, dvs. mellan räl och hjul respektive kontaktledning och strömavtagare (det tredje gränssnittet - signalsystemet på fordon och i infrastruktur exkluderas). Dessa två gränssnitt representerar krävda funktioner på en övergripande nivå (spårläge respektive trådläge) för de två anläggningstyperna, vilka idag huvudsakligen hanteras med mätvagn. Med en automatiserad tillståndsbedömning kan dessa övergripande funktioner i större utsträckning integreras med krävda funktioner på lägre systemnivåer (t.ex. anläggningsdelar som tråd och lina samt befästning och sliper) som idag huvudsakligen hanteras med manuell besiktning och felhantering. Även effektsamband för krävda funktioner på olika anläggningsnivåer kan förbättras med en digitaliserad tillståndsbedömning.

Ett motiv till valet är också att effekten av förändrat tillståndsbaserat underhåll med avseende på antal och typ av anmärkningar och fel kan verifieras via ordinarie maskinell och manuell besiktning samt Ofelia-ärenden. Baserat på detta kan även effekten på trafikstörningar bedömas.

Relaterat till andra kritiska system (t.ex. spårväxlar och skarvspår) pågår en hel del andra initiativ inom både FoI och verksamhetsutveckling. Även relaterat till skarvfritt spår, men framförallt kontaktledning pågår andra initiativ. Dock finns det inget annat identifierat initiativ som fokuserar på att tillämpa innovationsupphandling för att utveckla systemlösningar som kan integreras i Trafikverkets löpande verksamhet och upphandlas på en fungerande marknad med mer än en leverantör. Här bedöms det finnas synergieffekter



att erhålla så att Trafikverkets behov kan tillgodoses genom implementerade lösningar som tillämpas i den löpande verksamheten.

Fokus är på linjen mellan driftplatser för att frigöra manuella resurser som kan fokusera på driftplatser och få en förbättrad arbetsmiljö samt förbättra besiktningsverksamhetens effektivitet och produktivitet. Det uppnås bl.a. genom att mycket av dagens manuella arbete kan överföras till mer värdeskapande aktiviteter för att förebygga fel med potentiella trafikstörningar. En annan fördel är att den ökande bristen på tid i spår samt personal med rätt kompetens delvis kan hanteras med denna digitaliseringsmöjlighet.

Underhållsåtgärder inkluderar stabilitetspåverkande arbeten. Det är ett konkret exempel på existerande krav i regelverket som kräver belastad mätning och idag är svårt att uppfylla av entreprenören. Ytterligare ett relaterat behov är utvecklingen av effektsamband som påvisar effekten av olika underhållsåtgärder. Idag finns det t.ex. spårlägesfel som orsakas av geotekniska brister och åtgärder som spårriktning, justering och lyftning inte är tillräckliga utan resulterar i återkommande spårlägesfel och trafikstörningar. Etableringen av effektsamband baserade på en digitaliserad tillståndsbedömning kan stötta valet av ändamålsenliga och effektiva underhållsåtgärder som är medvetet provisoriska eller permanenta inom detta och andra exempel.

#### 4.2.3. Sammanfattande resultat från genomförd workshop

Vid genomförd workshop bedöms angelägenheten för planerad innovationsupphandling vara hög, primärt utifrån politiska och strategiska aspekter. Teknikmässigt är angelägenheten inte primärt baserat på hot, utan mer utifrån potentiella möjligheter som kan gå förlorade. Mottagligheten inom organisationen varierar beroende på roll och ansvar. (Söderholm, 2020a)

Genomförbarheten på innovationsupphandlingen bedöms vara på en nivå mellan låg och medel. En stor anledning till den relativt låga nivån är komplexiteten och tillgången till kritiska resurser, men även finansieringen. (Söderholm, 2020a)

De fem största risker och hinder som bedöms och som bör prioriteras och hanteras på lämpligt sätt är (Söderholm, 2020a):

- Det finns en risk att kritiska interna resurser ej finns tillgängliga, är villiga och lämpliga samt har tid. En orsak till detta är otillräcklig förankring hos resursägare, vilket gör att det ej prioriteras. Det påverkar projektets genomförande och resultat blir ej bra (innehållsmässigt).
- Det finns en risk att systemlösningen mäter fel saker och inte är relevant för betydande felmoder, vilket ger ett icke relevant beslutsstöd och hindrar nyttohemtagningen.
- Det finns en risk för bristfällig integration inom Trafikverkets verksamhet, vilket gör att nyttan av ansträngningarna inte uppnås genom en hindrad nyttohemtagning.
- Det finns en risk att perspektiven människa, teknik och organisation (MTO) inte beaktas i tillräcklig utsträckning, vilket medför att lösningens potential inte tas tillvara och att den används felaktigt, vilket försvårar införandet.
- Det finns en risk att lösningen är dyrare, sämre eller likvärdig med vad vi kan leverera för beslutsunderlag idag, vilket gör att kostanden blir hög och nyttan uteblir på grund av en förhindrad nyttohemtagning.

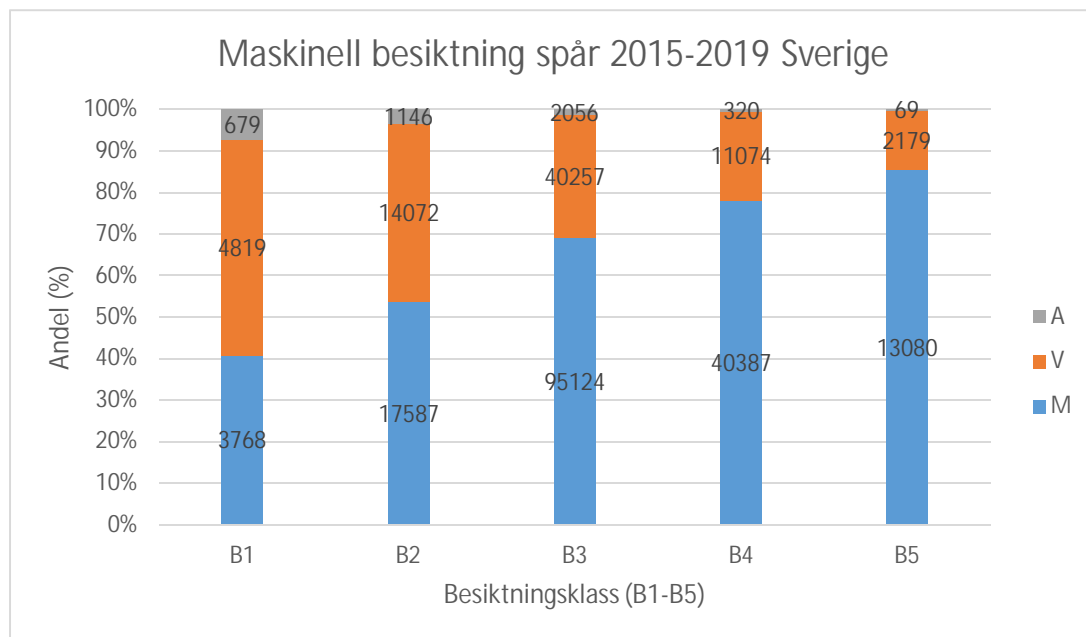
Utöver workshopen beskriven ovan (för detaljer hänvisas till Söderholm, 2020a) genomförs workshoppar för att utveckla en mer konkret kravspecifikation samt utvärderingskriterier som kan användas inom ramen för innovationsupphandlingen.

#### 4.2.4. Analys av driftsäkerhet spår

Analysen av driftsäkerhet för spår är uppdelad på maskinell besiktning, manuell säkerhetsbesiktning, manuell underhållsbesiktning samt fel och felhantering. För ytterligare detaljer hänvisas till Söderholm (2021b, 2021d).

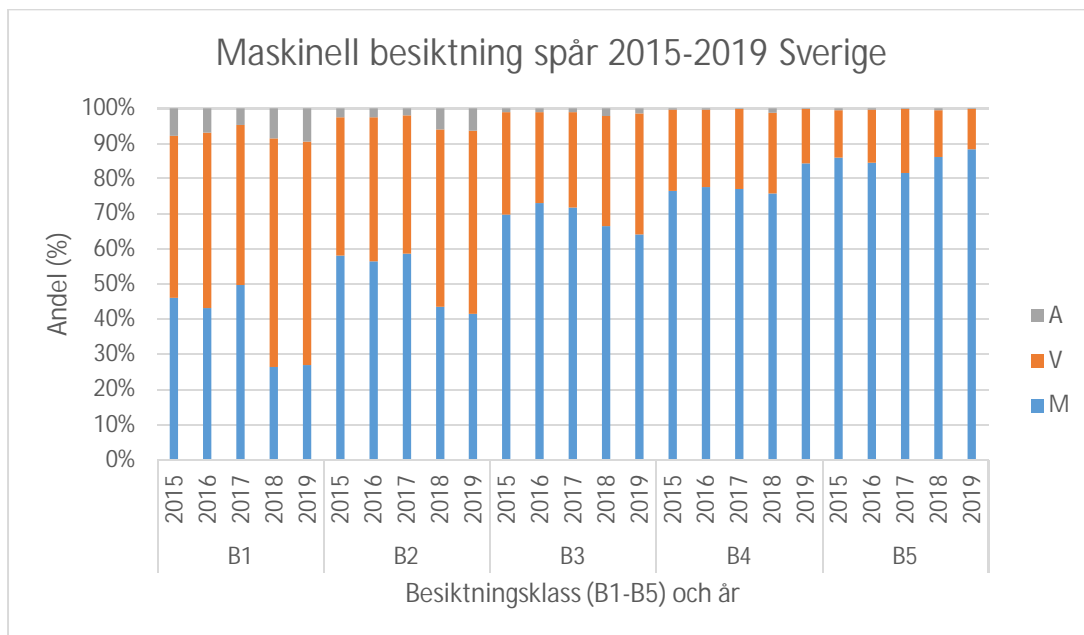
##### *Maskinell besiktning spår*

För maskinell besiktning av spår tenderar andelen A- och V-anmärkningar att minska då tiden mellan besiktningar minskar (ökande besiktningsklass), se Figur 4 nedan. Tiden mellan besiktningar måste minskas i alla besiktningsklasser för att undvika A- och V-anmärkningar. Storleken på nödvändig minskning av tiden mellan besiktningar avtar med besiktningsklass. M-anmärkningar för besiktningsklasser B4 och B5 kan resultera i att samma M-anmärkning uppkommer även vid nästa besiktning då dessa besiktningsklasser har sex besiktningar per år, vilket kan ge två månader eller mindre (på grund av praktiska förhållanden som årstider) mellan besiktningarna och en M-anmärkning ska åtgärdas inom tre månader. Antalet återkommande M-anmärkningar har ej studerats i denna analys.



Figur 4. *Fördelningen av olika typer av anmärkning från den maskinella besiktningen av spår under åren 2015-2019 för olika besiktningsklasser. A = A-anmärkning (åtgärdas akut), V = Veckoanmärkning (åtgärdas inom två veckor), M = M-anmärkning (åtgärdas inom tre månader).*

För maskinell besiktning av spår tenderar andelen A- och V-anmärkningar att öka över tid - för besiktningsklasserna B1-B3, medan den är relativt stabil eller kanske minskar för B4 och B5. Se Figur 5 nedan.

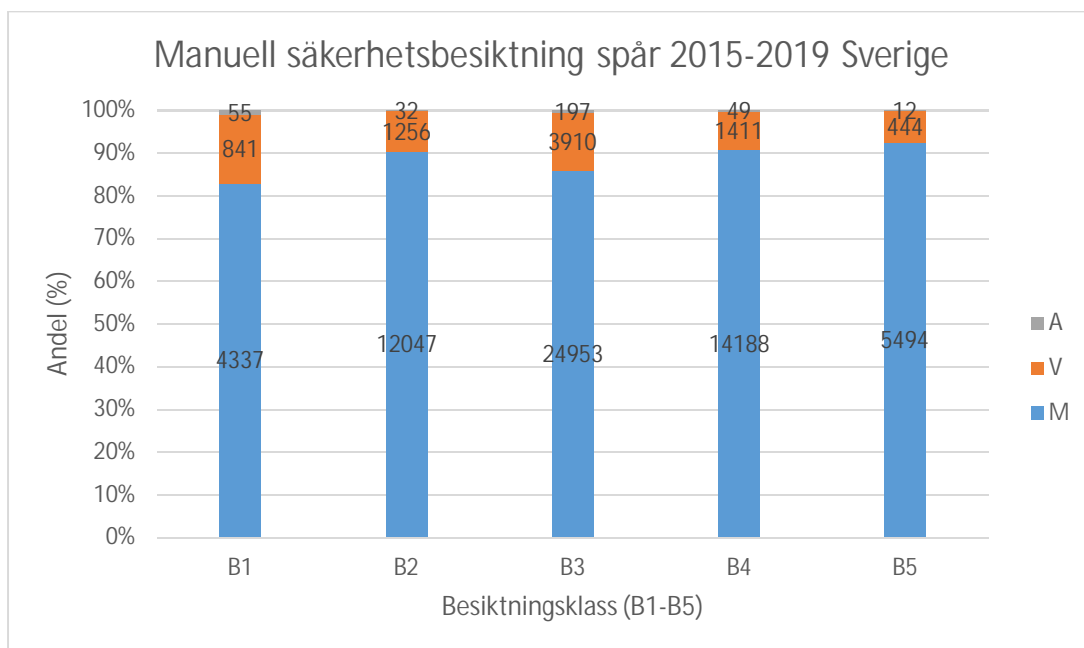


Figur 5. Utvecklingen av fördelningen av olika typer av anmärkning från den maskinella besiktningen av spår under åren 2015-2019 för olika besiktningsklasser. A = A-anmärkning (åtgärdas akut), V = Veckoanmärkning (åtgärdas inom två veckor), M = M-anmärkning (åtgärdas inom tre månader).

De flesta A-anmärkningarna från den maskinella mätningen är relaterade till skevnings- och spårviddsfel. Majoriteten av V-anmärkningarna är relaterade till 3m skevningsfel. På en lägre nivå kommer därefter i minskande omfattning: spårvidd max punktfel, sida 1-25, skevning 6m samt höjd 1-25m. Övriga fel ligger på en betydligt lägre nivå. För M-anmärkningar dominerar höjd 1-25m följt av sida 1-25m, medan övriga fel ligger på betydligt lägre nivåer. Se Söderholm (2021b).

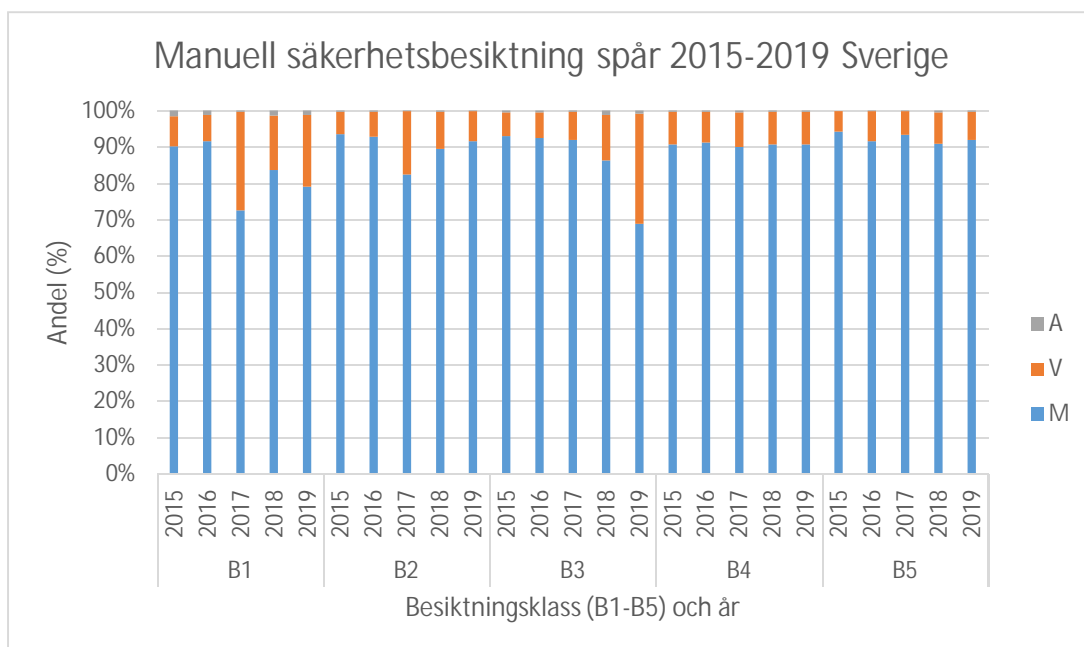
#### Manuell säkerhetsbesiktning spår

För manuell säkerhetsbesiktning av spår är det ingen tydlig trend för andelen A- och V-anmärkningar beroende på besiktningsklass (B2 är avvikande från en sådan trend). Det kan finnas en tendens till att andelen A- och V-anmärkningar avtar med ökad besiktningsklass. Se Figur 6 nedan.



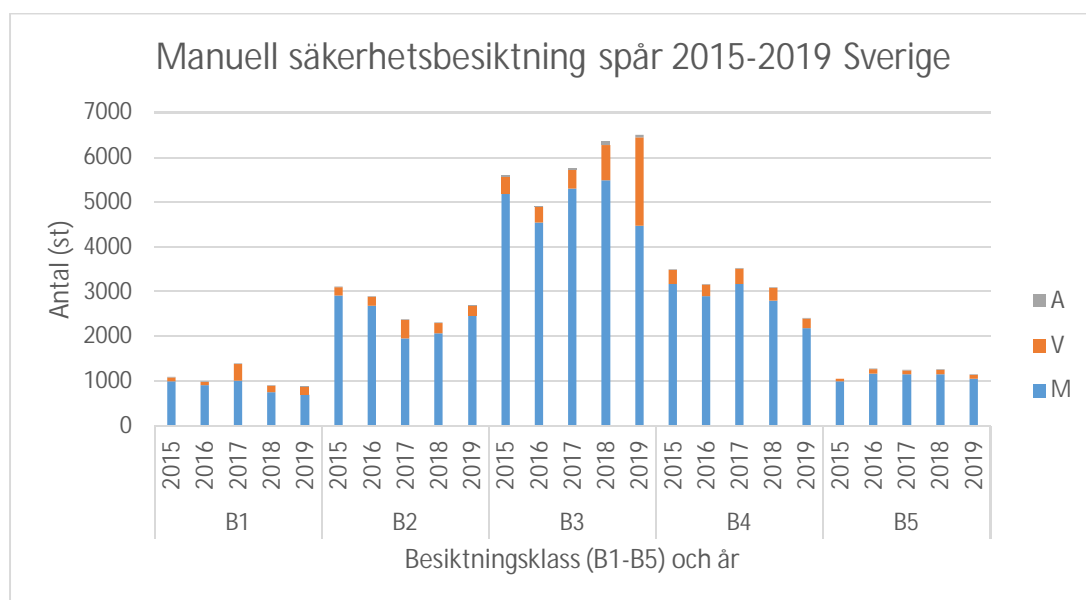
Figur 6. Fördelningen av olika typer av anmärkning från den manuella säkerhetsbesiktningen av spår under åren 2015-2019 för olika besiktningssklasser. A = A-anmärkning (åtgärdas akut), V = Veckoanmärkning (åtgärdas inom två veckor), M = M-anmärkning (åtgärdas inom tre månader).

För manuell säkerhetsbesiktning av spår tenderar andelen A- och V-anmärkningar att vara relativt konstant över tid oberoende av besiktningssklass (med någon enstaka förändring). Se Figur 7 nedan.



Figur 7. Utvecklingen av fördelningen av olika typer av anmärkning från den manuella säkerhetsbesiktningen av spår under åren 2015-2019 för olika besiktningssklasser. A = A-anmärkning (åtgärdas akut), V = Veckoanmärkning (åtgärdas inom två veckor), M = M-anmärkning (åtgärdas inom tre månader).

För manuell säkerhetsbesiktning av spår tenderar antalet M-anmärkningar att minska de tre senaste åren för B4, i övrigt är det svårt att identifiera någon tydlig trend för M-anmärkningar. Antalet V-anmärkningar ökar "exponentiellt" för B3, men i övrigt inga tydliga trender. Antalet A-anmärkningar påvisar en nivåförändring för B3 där 2018 och 2019 ligger betydligt högre än tidigare år. Förutom detta och B4, som har en minskande trend de tre senaste åren, finns inget tydligt mönster. Se Figur 8 nedan.



Figur 8. Utvecklingen av antalet olika typer av anmärkning från den manuella säkerhetsbesiktningen spår under åren 2015-2019 för olika besiktningssklasser. A = A-anmärkning (åtgärdas akut), V = Veckoanmärkning (åtgärdas inom två veckor), M = M-anmärkning (åtgärdas inom tre månader).

De flesta A-anmärkningarna från manuell säkerhetsbesiktningen av spår är relaterade till spår (skarv) och befästning. Därefter kommer i avtagande ordning: sliper, skarv, räl och ballast. De vanligaste orsakerna till A-anmärkningar från den manuella säkerhetsbesiktningen är saknad befästning och defekt skarvjärn på ungefär samma nivå. På nästa nivå kommer röta i sliper samt att skruv och mutter saknas i skarv. Den tredje nivån är rälsfel, spårviddsökning kopplade till befästning samt befästning som sitter löst. (Se Söderholm 2021b)

Majoriteten av V-anmärkningarna är relaterade till befästning, sliper och skarv. Därefter kommer i avtagande ordning räl och ballast, medan dilationsanordning och rälsvandringshinder är försumbart få. De vanligaste orsakerna till V-anmärkningar från den manuella säkerhetsbesiktningen är saknad befästning, röta i sliper, saknad skruv och mutter i skarv, övervalsning i isolerskarv, rälsfel, lös skruv och mutter i skarvjärn samt defekt skarvjärn. (Se Söderholm 2021b)

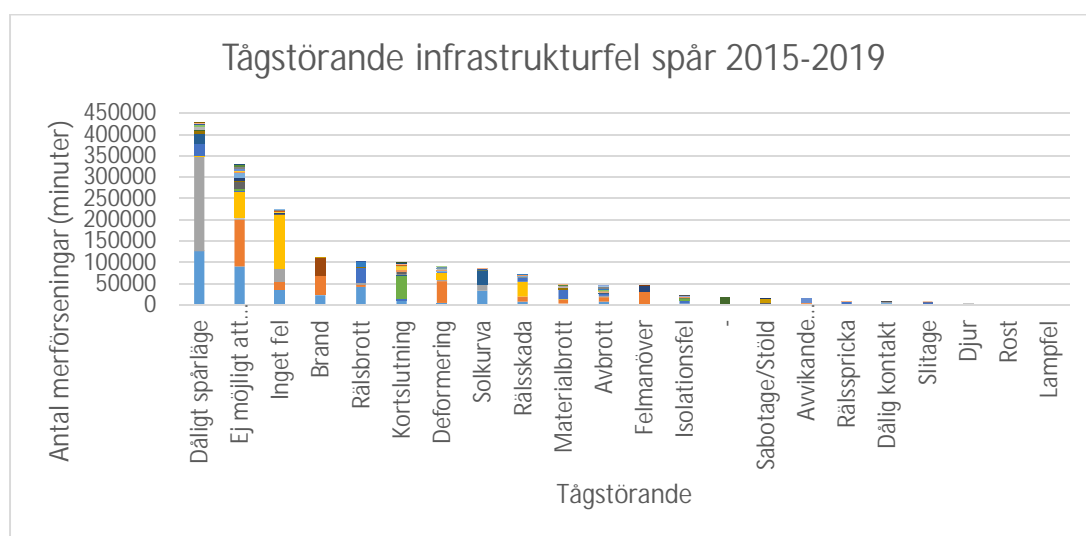
För M-anmärkningar ligger ballast och räl på högsta nivå, tätt följda av skarv sliper och spår på nästa nivå samt därefter befästning på en något lägre nivå. Rälsvandringshinder och dilationsanordningar ligger på en betydligt lägre nivå än övriga anläggningsdelar. De vanligaste orsakerna till M-anmärkningar från den manuella säkerhetsbesiktningen är ballastbrist, röta i sliper, slirsår, BIS-avvikelse, saknade eller lösa befästningar samt skarv med skruv och mutter som saknas. (Se Söderholm 2021b)

### Manuell underhållsbesiktning spår

För den manuella underhållsbesiktningen av spår är de absolut vanligaste Å- och M-anmärkningarna saknad ballast respektive befästning. Därefter kommer Å- och M-anmärkning avseende röta i sliper följt av Å-anmärkning för sprickbildning i sliper, vilket även har några M-anmärkningar. På en tredje nivå återfinns vegetation i ballast med Å- och M-anmärkningar. Därefter kommer slirsår med både Å- och M-anmärkningar. (Se Söderholm 2021b)

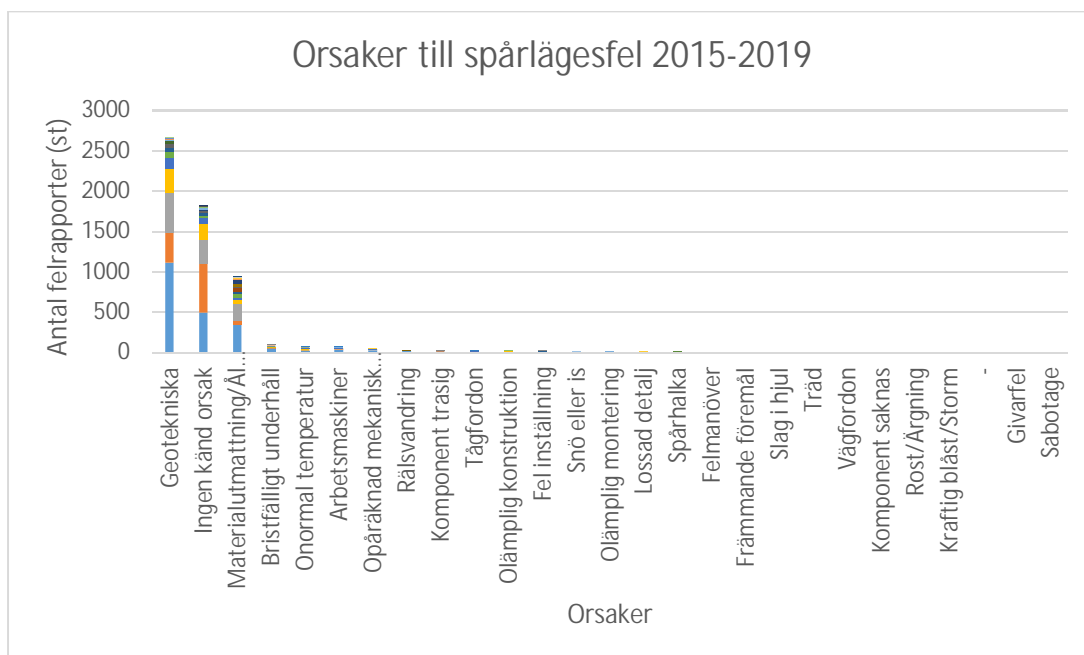
### Fel och felhantering spår

Det spårfel som genererar flest avhjälpande underhållsåtgärder, men också flest störda tåg och mest merförseningar är dåligt spårsläge. Därefter kommer felorsaker som ej är möjligt att definiera eller inte är ett fel. Dessa är oftast relaterade till urspårning/kollision som orsakar många merförseningsminuter, men där det kan vara svårt att avgöra om det är infrastruktur eller fordon som är orsaken. Spårrelaterade orsaker till urspårning kan vara fel i spårsläge (skevning eller spårvidd) eller räl (t.ex. rälsbrott). Se Figur 9 nedan.



Figur 9. Antalet merförseningar orsakade av infrastruktur fel för spår under åren 2015-2019. Färgerna i staplarna anger orsaker. De vanligaste orsakerna är "ingen känd orsak" (blå), geotekniska (grå), tågfordon (orange) och "slag i hjul" (gul).

Den absolut vanligaste rapporterade orsaken till spårslägesfel är geotekniska, se Figur 10 nedan.



Figur 10. Orsaker till spårhälsfel under åren 2015-2019. Färgerna i respektive stapel anger vidtagna åtgärder. De fyra vanligaste åtgärderna är justering (blå), kontroll (orange), stoppning (grå) och spårriktning (gul).

Vanliga åtgärder är justering, stoppning och spårriktning. Även i de fall som det inte finns någon känd orsak vidtas samma åtgärder. Därefter är de två vanligaste orsakerna till dåligt spårhäls materialutmattning och åldring samt bristfälligt underhåll. (Se Söderholm, 2021d).

För de platser där det är geotekniska orsaker till spårhälsfel och relaterad åtgärd är t.ex. justering, stoppning, kontroll, spårriktning, återställning eller lyftning verkar det som att felet blir återkommande. Det innebär att dessa åtgärder troligtvis inte är tillräckliga för att åtgärda orsaken till spårhälsfelet. Se Söderholm, 2021d.

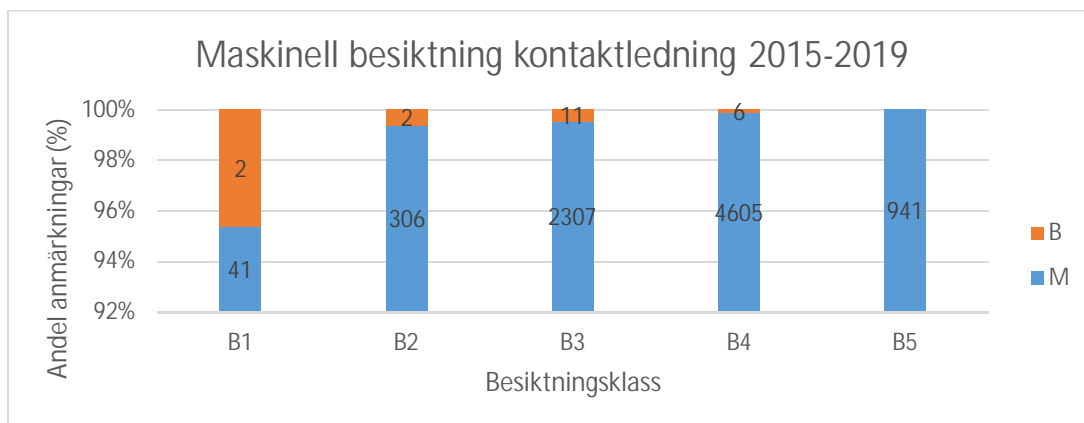
#### 4.2.5. Analys av driftsäkerhet kontaktledning

Analysen av driftsäkerhet för kontaktledning är uppdelad på maskinell besiktning, manuell säkerhetsbesiktning, manuell underhållsbesiktning samt fel och felhantering. För ytterligare detaljer hänvisas till Söderholm (2021a, 2021c).

##### *Maskinell besiktning kontaktledning*

För maskinell besiktning av kontaktledning tenderar andelen B- anmärkningar att minska då tiden mellan besiktningar minskar (ökande besiktningsklass), se Figur 11 nedan. För besiktningsklass B1 (en besiktning per år) och B2 (tre besiktningar per år) innebär det att besiktningen ska åtgärdas inom ett år respektive fyra månader. För B3 (fyra besiktningar per år) motsvarar det en M-anmärkning (åtgärdas inom tre månader). För B5 (sex besiktningar per år) ska dock åtgärden genomföras inom två månader, vilket är mer restriktivt än för en M-anmärkning. Mätvagnen genererar endast M-anmärkningar för kontaktledning. Det gör att B-anmärkningar registrerade i Bessy har tillkommit i hanteringen av anmärkningen från de maskinella mätningarna.

Åtgärder relaterade till B-anmärkningar är att justera (10 stycken), kontroller orsaken och åtgärda (9 stycken) samt höj kontaktledningen (2 stycken). Den maskinella besiktningen av kontaktledning genererar anmärkningar relaterade till trådläge (positionen: Närområde\Hängverk och utliggare\Trådläge). Se Söderholm (2021c) för ytterligare detaljer.



Figur 11. *Fördelningen av olika typer av anmärkning från den maskinella besiktningen av kontaktledning under åren 2015-2019 för olika besiktningssklasser. B = B-anmärkning (åtgärdas innan nästa besiktning), M = M-anmärkning (åtgärdas inom tre månader).*

#### **Manuell säkerhetsbesiktning kontaktledning**

Den manuella säkerhetsbesiktningen för kontaktledning under tidsperioden 2010-2020 har genererat 14724 stycken M-anmärknings, 7264 stycken A-anmärknings, 4371 V-anmärknings och 3015 B-anmärknings. (Söderholm, 2021a)

De fyra dominerande positionerna för M-anmärknings är: Jordning\Skyddsjord (4408 stycken); Anläggning\Hängverk och utliggare (3024 stycken); Anläggning\Ledning kontra omgivning (2810 stycken); Anläggning\Avspänning (1137 stycken). (Söderholm, 2021a)

V-anmärkningarna domineras av \Jordning\Skyddsjord (2665 stycken); Anläggning\Hängverk och utliggare (587 stycken); Anläggning\Ledning kontra omgivning (200 stycken). (Söderholm, 2021a)

De fyra dominerande positionen för A-anmärknings inom kontaktledning är: Jordning\Skyddsjord (5333 stycken); Anläggning\Hängverk och utliggare (739 stycken); Jordning \Driftjord (407); Anläggning\Ledning kontra omgivning (360 stycken). (Söderholm, 2021a)

B-anmärknings från den manuella säkerhetsbesiktningen av kontaktledning domineras av Anläggning\Avspänning (1137 stycken). (Söderholm, 2021a)

#### **Manuell underhållsbesiktning kontaktledning**

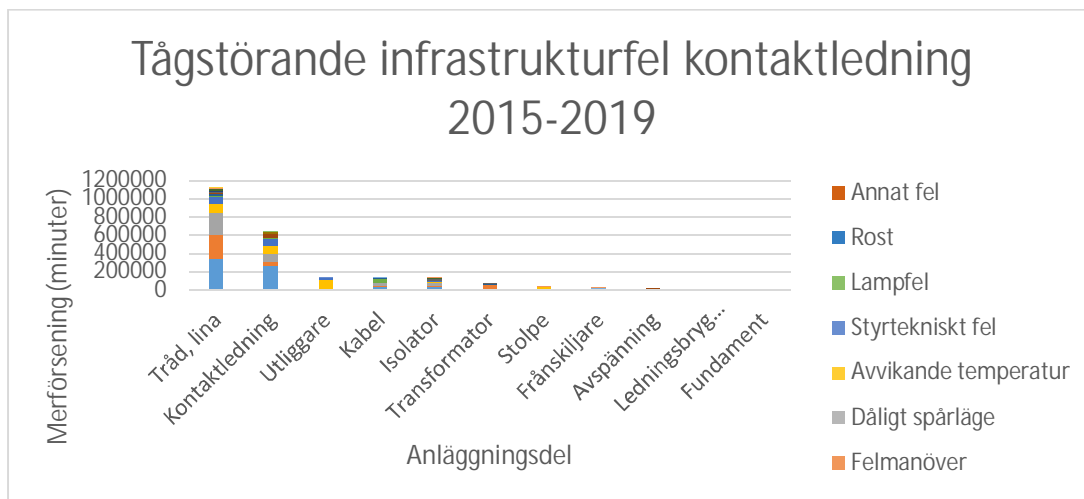
Den manuella underhållsbesiktningen av kontaktledningssystemet har under åren 2010-2020 genererat 41716 stycken Å-anmärknings, 22424 stycken M-anmärknings, 2672 Ö-anmärknings och 1 A-anmärkning. Å-anmärkningarna domineras av Bärande konstruktion\Stolpe och ledningsbrygga\Stolpe (27310 stycken). M-anmärkning för kontaktledning domineras av (Söderholm, 2021a):

1. Närområde\Hängverk och utliggare\Utliggare (2803)
2. Närområde\Förankring och avspänning\Avspänning (2263)
3. Jordning\Skyddsjord (2149)
4. Bärande konstruktion\Stolpe och ledningsbrygga\Stagning (2076)
5. Närområde\Hängverk och utliggare\Trådläge (1945)
6. Bärande konstruktion\Stolpe och ledningsbrygga\Stolpe (1036).

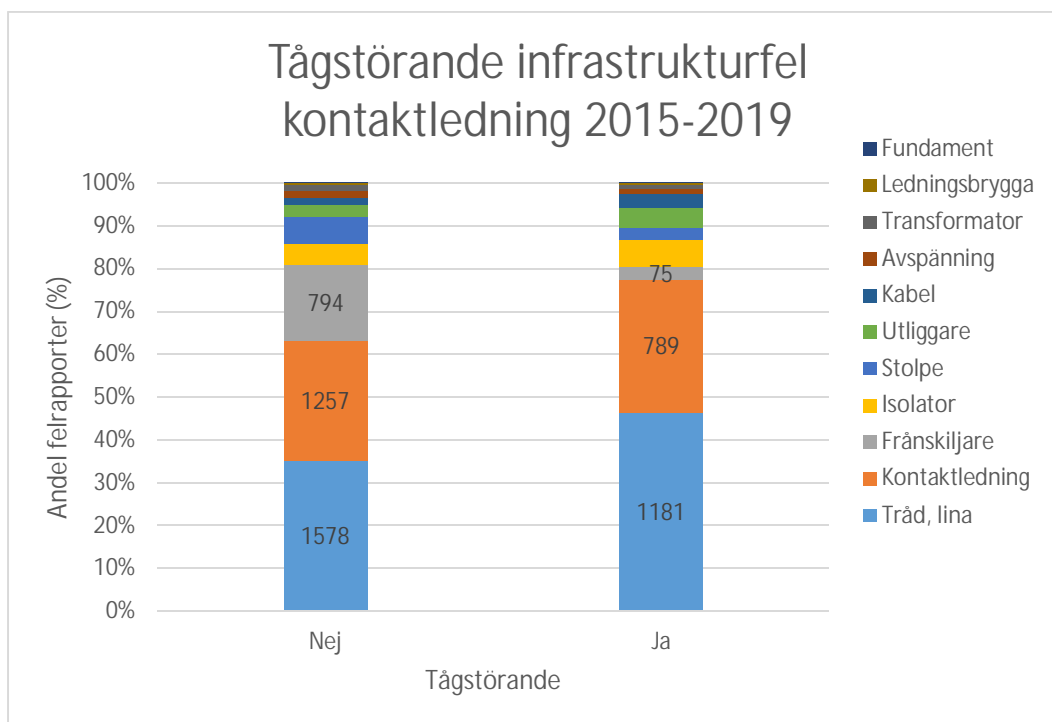


### Fel och felhantering kontaktledning

Antalet felrapporter relaterade till kontaktledningssystemet domineras av anläggningsdelen tråd och lina följt av kontaktledning. Dessa anläggningsdelar genererar mest kostnader för det avhjälpande underhållet, men bidrar även till flest antal störda tåg och merförseningsminuter. Därefter är fränskiljare den anläggningsdel som genererar kostnader för avhjälpande underhåll, men inte lika mycket trafikstörningar. Efter det är det anläggningsdelarna isolator, stolpe och utliggare som generera flest fel i avtagande ordning. Efter tråd, lina och kontaktledning är utliggare den anläggningsdel som orsakar flest störda tåg (även om det är betydligt lägre nivå än de mest bidragande anläggningsdelarna). Se Figur 12 och 13 nedan.

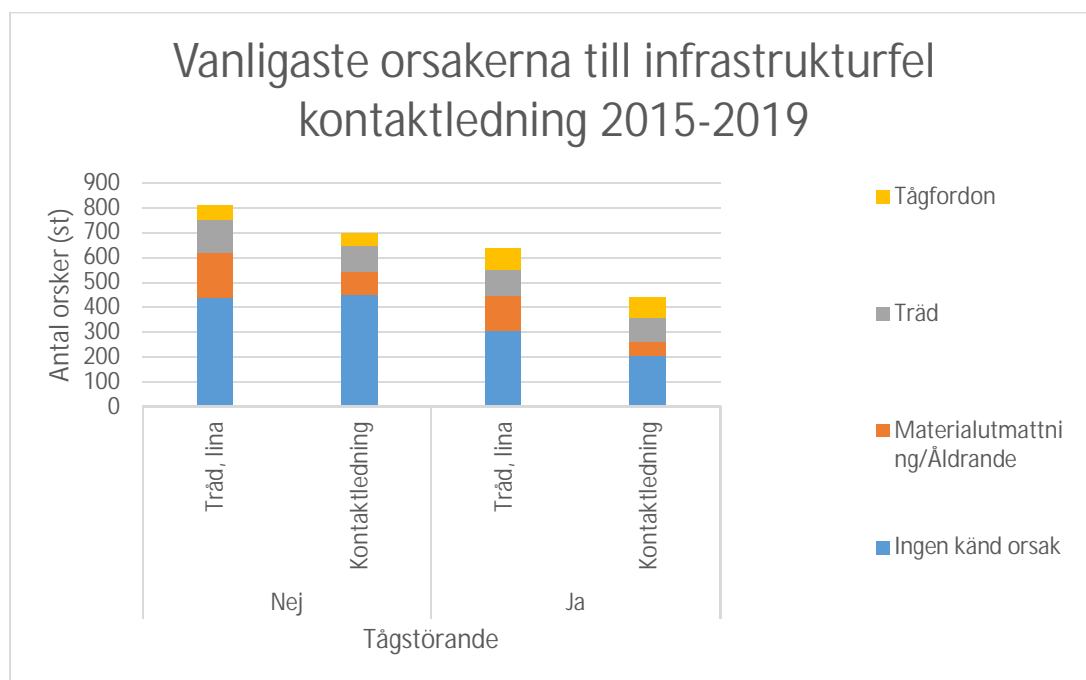


Figur 12. Antalet merförseningar orsakade av fel i kontaktledningen under åren 2015-2019.



Figur 13. Andel felrapporter för olika anläggningsdelar inom kontaktledningssystemet under åren 2015-2019 uppdelat på tågstörande fel eller ej.

För tråd och lina samt kontaktledning är de fyra vanligaste felorsakerna ingen känd orsak, materialutmattning/åldrande, träd samt tågfordon. Se Figur 14 nedan.

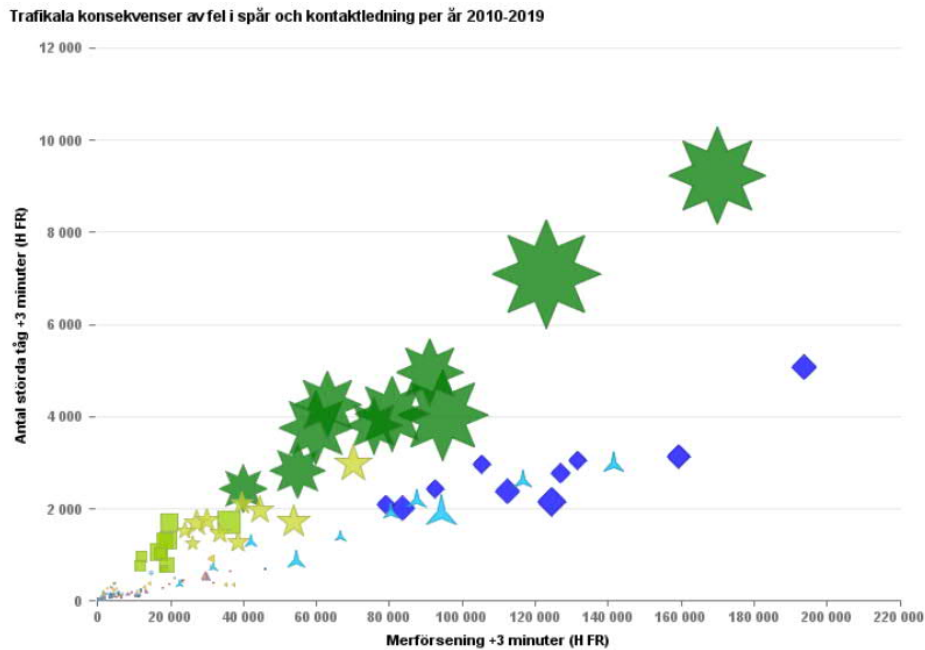


Figur 14. Antal orsaker för fel i tråd, lina och kontaktledning under åren 2015-2019 uppdelat på tågstörande fel eller ej.

Inom gruppen med ingen känd orsak är de fyra vanligaste beskrivningarna på mer detaljerad nivå ej möjligt att definiera, inget fel, avbrott, materialbrott, deformation och kortslutning. Se Söderholm (2021c).

#### 4.2.6. Jämförelse av trafikstörningar orsakade av spår respektive kontaktledning

En jämförelse av trafikstörningar vid fel i anläggningsdelar (tredje nivån inom anläggningsstrukturen enligt BVS 811, t.ex. räil, sliper, tråd, lina) inom anläggningstyperna kontaktledning respektive spår (andra nivån inom anläggningsstrukturen enligt BVS 811) per år (2010-2019) återges i Figur 15 nedan. Logiken bakom upprättade riskmatriser beskrivs mer ingående i Söderholm (2015) och Söderholm & Bergquist (2016). För ytterligare detaljer av genomförd analys hänvisas till Söderholm (2021e).

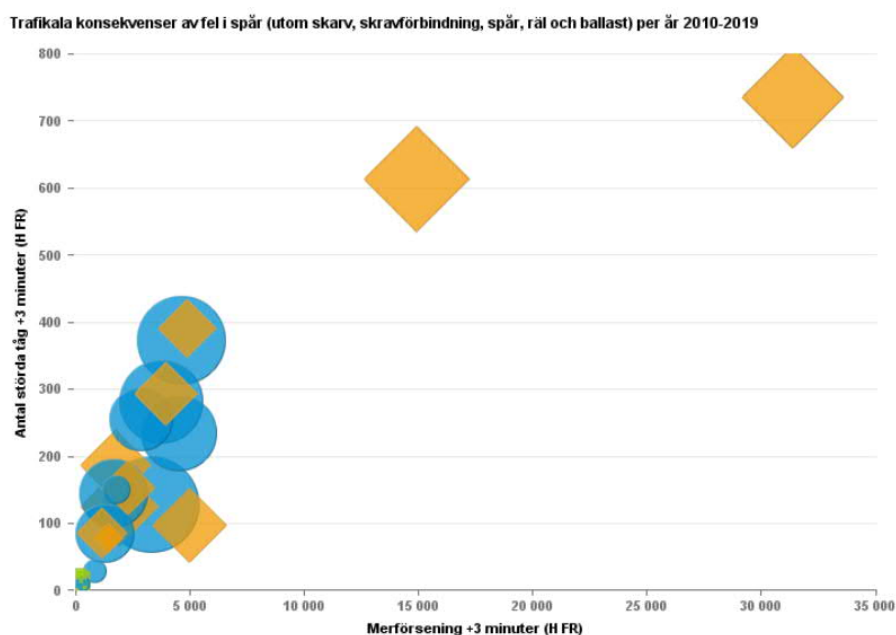


Figur 15. Relationen mellan antal störda tåg (y-axel), antal mefförseningar (x-axel) samt antal tågstörande fel (storlek på geometriska former) för anläggningsdelar inom anläggningstyperna kontaktledning (blå färg) och spår (grön färg). Inkluderade år är 2010-2019 och mefförseningarna är mätta vid en rättidighet på 3 minuter (RT+3).

I Figur 15 ovan är anläggningsdelarna skarv och skarvförbindning exkluderade då den planerade innovationsupphandlingen är avgränsad till skarvfritt spår. På y-axeln anges antalet störda tåg med en rättidighet på 3 minuter (RT+3). På x-axeln anges antalet mefförseningar (RT+3). De olika geometriska formernas storlek illustrerar antalet tågstörande fel för olika anläggningsdelar (t.ex. räil, sliper, tråd, lina). Grön färg markerar spår medan blå färg markerar kontaktledning. Gröna åttauddiga stjärnor representerar anläggningsdelen spår, medan gröna femuddiga stjärnor representerar räil och gröna kvadrater representerar ballast. Blå romber representerar anläggningsdelen tråd och lina, medan blå treuddiga stjärnor representerar kontaktledning.

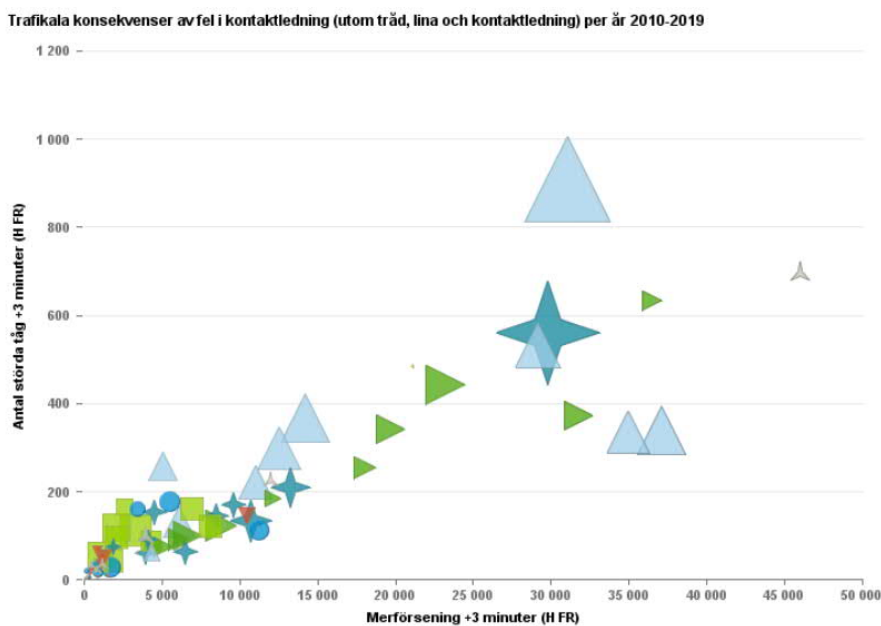
Ett tydligt mönster är att antalet tågstörande fel för spår tenderar att vara fler än motsvarande för kontaktledning. En annan skillnad är att antalet störda tåg vid fel inom kontaktledning tenderar att vara lägre än motsvarande för spår, men samtidigt tenderar antalet mefförseningar vara större för kontaktledning än för spår. Inom kontaktledningssystemet så är tråd och lina mer kritiskt än kontaktledningen ur ett trafikalt perspektiv då de tenderar att resultera i fler störda tåg och mefförseningar. För spår kan tre grupperingar urskiljas där anläggningsdelen spår är mest kritisk följt av räil och därefter ballast. Sammanfattningsvis så är antalet tågstörande fel för kontaktledning färre än för spår, men resulterar i längre avbrott och fler mefförseningar även om antalet störda tåg är färre. Se även Söderholm (2021e) för ytterligare detaljer.

En analys av anläggningstypen spår på nästa konsekvensnivå, där anläggningsdelarna spår, räil och ballast exkluderats återges i Figur 16 nedan. Gula romber representerar sliper, medan blå cirkelar representerar befästning. Det är tydligt att sliper följt av befästning är de anläggningsdelar som är kritiska med avseende på trafikstörningar efter spår, räil och ballast. Se Söderholm (2021e) för ytterligare detaljer.



Figur 16. Relationen mellan antal störda tåg (y-axel), antal morförseningar (x-axel) samt antal tågstörande fel (storlek på geometriska former) för några anläggningsdelar inom anläggningstypen spår. Inkluderade år är 2010-2019 och morförseningarna är mätta vid en rättidighet på 3 minuter (RT+3).

En analys av anläggningstypen kontaktledning på nästa konsekvensnivå, där anläggningsdelarna tråd, lina och kontaktledning exkluderats återges i Figur 17 nedan. Blå trianglar representerar isolator, medan gröna trianglar representerar kabel. Fyruddiga blå stjärnor representerar uteliggare och grå treuddiga stjärnor representerar transformator. Gröna kvadrater representerar fränskiljare och blå cirkclar avspänning. Se Söderholm (2021e) för ytterligare detaljer.



Figur 17. Relationen mellan antal störda tåg (y-axel), antal morförseningar (x-axel) samt antal tågstörande fel (storlek på geometriska former) för några anläggningsdelar inom anläggningstypen kontaktledning. Inkluderade år är 2010-2019 och morförseningarna är mätta vid en rättidighet på 3 minuter (RT+3).

### 4.3. Omvärldsanalys

Den politiska angelägenheten är hög via instruktion och regleringsbrev samt flertal utredningar och granskningar från bl.a. tillsynsmyndigheter som indikerar behovet. Den senaste är SOU (2020:18) "Framtidens järnvägsunderhåll". Andra tidigare exempel är SOU (2015:42) "Koll på anläggningen", N 2013:02 "Utredningen om järnvägens organisation", "Underhåll av järnväg" (RiR 2010:16), SOU (2010:69) "Förbättrad vinterberedskap inom järnvägen", SOU (2009:20) "Mer järnväg för pengarna" och "Vinterutredning åtgärdsprogram inom järnvägssektorn" (GD 02-111/OR40).

Inom ePilots ramverk har 38 delprojekt genomförts från en 1 november 2013 till den 31 december 2019. De 50 intressenter som deltagit inom ePilot representerar olika delar inom järnvägsbranschen, men även andra branscher:

- Aiwizo
- AMT
- Argocap
- BaneNOR
- Bombardier
- Branschföreningen Tågoperatörerna
- Cargonet
- Combitech
- Consid
- Damill
- Designtech
- D-RAIL
- Duroc Rail
- eMaintenance 365/Predge
- EuroMaint
- Green Cargo
- IBM
- Infranord
- Kairos Future
- Kaunis Iron
- Järnvägstekniskt centrum (JVTC)
- Kungliga tekniska högskolan (KTH)
- Latronix
- Lernia
- LKAB
- Luleå tekniska universitet (LTU)
- Norrtåg
- Norut
- NRC group
- Omicold
- Outflight
- Railcare Group
- Rejlers
- ReRail
- SCMT
- SJ
- Structon Rail
- SWECO
- Telenoor
- Trackoptic
- Trafikverket
- Tyréns
- TX Logistik
- Tågkompaniet/VY
- Uppsala universitet
- Upwis
- Vossloh
- WSP Sverige
- Xlent
- ÅF Pöyrö

Exempel på delprojekt inom ePilot som är relaterade till infrastruktur och är relevanta för den aktuella innovationsupphandlingen är (LTU, 2020):

- Delprojekt 006 – STEG I (Styrning tåg elektronisk graf)
- Delprojekt 035 – Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR)
- Delprojekt 040 - Faktainsamling och analys av järnvägens infrastruktur från ordinarie tåg med kamera i förarhytt (HUGO)
- Delprojekt 050 – Befästringsinspektion - mätningar och analys

- Delprojekt 054 – GIS-baserad riksinventering av järnvägssträckor
- Delprojekt 213 – Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur för sträckan Kiruna-Narvik
- Delprojekt 214 – Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur
- Delprojekt 228 – Bildanalys
- Delprojekt 244 – Utvärdering av mobil datainsamling för besiktning av järnvägsanläggningar (Quiet Track Monitoring System)
- Delprojekt 245 – Automatisering av besiktningens verksamhet från fordon i trafik
- Delprojekt 246 – Verifiering av analysverktyg och mätdata från fordonsbaserad mätutrustning
- Delprojekt 250 - Förstudie gällande användning av maskininlärning för tillståndsbaserat underhåll av bärninor

Inom TTT:s AI-dialog identifierade branschen totalt 19 olika behov. De största behoven kan summeras till prediktivt underhåll, trafikplanering, prognoshantering, störningshantering samt riskbedömningar. Dessa områden bedömer branschen ha störst potential och även ha stort behov av förbättring. Det övergripande område som är direkt relevant för den aktuella innovationsupphandlingen är prediktivt underhåll. Det innebär att förutse störningar inom infrastruktur, vilket är ett område där det finns konkreta exempel i dagsläget. Det har även stora potentialer för att minska störningar och därmed öka punktligheten. T.ex. att prediktera fel i anläggningen, att nyttja andra informationskällor som väderdata tydligare, att bedöma belastningar och att i realtid uppdatera riskbedömningar för snabbare hantering etc. Specifikt relaterat till infrastruktur identifierades följande nio områden: förutse fel i anläggningen; underlätta och komplettera mätningar från mätvagnar; nyttja väderdata till förebyggande underhåll; komponenters livslängd; belastning och behov på längre sikt; optimera lagerhållning av materiel och reservdelar; realtidshantering, effektivisera uttryckningar etc.; förbättra riskbedömningar; samt att anpassa infrastruktur efter resenärernas behov. (JBS, 2020)

Innan dialog inom AI inleddes anmälde sig 25 olika organisationer. Av dessa bedöms ungefär hälften ha en metodik, plattform eller förslag, en fjärdedel ha färdiga lösningar för järnväg och några få vill veta mer eller visa exempel. Deltagande organisationer listas i bokstavsordning nedan.

- |                      |                        |                                 |
|----------------------|------------------------|---------------------------------|
| • AFRY               | • Forefront Consulting | • PropBot & Uppsala Universitet |
| • AI Sweden          | • Huawei               | • QBIM                          |
| • Aiwizio            | • Kamin                | • Sweco                         |
| • Alstom             | • Knowit               | • Tessella                      |
| • Atkins             | • Microsoft            | • Triona                        |
| • CGI                | • Nokia                | • Univrses                      |
| • Commuter Computing | • Oracle               | • VMware                        |
| • Ework Group        | • Outflight            | • WSP                           |
|                      | • Predge               |                                 |

Omvärldsanalysen samt marknadsdialogen visar att det finns flera tekniklösningar med hög teknisk mognadsgrad (TRL 6-7) inom FoI- och verksamhetsutveckling för insamling av ny tillståndsdata, utvecklad tillståndsbedömning baserad på befintlig data, eller en kombination av båda. Exempel på dessa finns bland 38 delprojekt inom ePilot (Karim et al., 2020), projektet Verklighetslabb digital järnväg (Söderholm et al., 2019; Granström, 2019b) samt projekt inom ramen för programmet Shift2Rail.

#### 4.4. Marknadsdialog

Totalt genomförs 12 separata inledande marknadsdialoger med 17 aktörer. På en övergripande nivå kan aktörerna klassas som operatör (1), analysföretag (1), entreprenör (2) samt mät- och analysföretag (13). Av de lösningar som presenteras omfattar åtta spår och kontaktledning, fyra enbart spår och ingen enbart kontaktledning. Marknadsdialogen indikerar att det finns lösningar på Trafikverkets behov som har en hög teknisk mognadsgrad. Dock kvarstår utmaningar för anpassning till bl.a. Trafikverkets it-miljö, regelverk samt kontrakt och avtal för att erhålla systemlösningar. I de fall lösningarna omfattar driftsäkerhetsförbättringar finns även utmaningar att utveckla Trafikverkets regelverk.

Alla organisationer som ingår i den inledande marknadsdialogen är positiva och vill delta i en kommande innovationsupphandling då de anser att de har relevanta lösningar för Trafikverkets beskrivna behov.

Endast en av de deltagande marknadsaktörerna adresserar driftsäkerhetsförbättringar där regelverket utmanas genom att ersätta manuell tillståndsbedömning med maskinell, vilket även ger en stor produktivitetsförbättring. Denna förändring kräver en anpassning av nivåer och kriterier från en obelastad manuell mätning till en belastad maskinell mätning. Dock är tillämpningen för en anläggningstyp som inte ingår i den aktuella innovationsupphandlingen.

Alla aktörer som deltar i marknadsdialogen fokuserar på produktivitetsförbättringar avseende anläggningstyperna kontaktledning eller spår. De fokuserar således på att uppfylla existerande regelverk avseende manuell eller maskinell tillståndsbedömning. Det är speciellt tydligt när det gäller maskinell mätning, där de existerande kraven för mätvagnen används för att utvärdera den egna lösningen som typiskt baseras på accelerometrar och gyro samt positionering med hjälp av t.ex. GPS när det gäller spår. Således är fokus på insamling och analys av data som är jämförbar med mätvagnens data med möjligheten att öka frekvensen genom att t.ex. använda arbetsfordon eller tåg i reguljär trafik. Trots fokus på att uppnå mätvagnens prestanda är den huvudsakliga inställningen att föreslå mätningar och analyser kommer att komplettera mätvagnen och inte ersätta den.

Ett par aktörer fokuserar på att analysera befintlig tillståndsdata från mätvagnen på ett bättre sätt, eller i kombination med ytterligare befintlig data. Det vill säga, inga ytterligare sensorer installeras eller datainsamlingar genomförs.

När det gäller att ersätta manuell tillståndsbedömning används i bästa fall existerande regelverk för att utvärdera vilka och hur stor andel av besiktningarna som kan ersättas med primärt foto, film och lidar. Det omfattar således också primärt produktivitetsförbättringar. Det finns även någon lösning baserad på virvelström som kan användas för att ersätta viss manuell tillståndsbedömning (t.ex. befästning), men även maskinell tillståndsbedömning avseende både spårläge och räckvidd. Virvelström har inte samma nackdelar som t.ex. foto, film och lidar som är mer väderberoende.

Ett par aktörer fokuserar på att installera ytterligare sensorer i anläggningen för att övervaka dess tillstånd, t.ex. för spårledning. Övriga aktörer fokuserar på att använda fordon som trafikerar anläggningen och via dem bedöma tillståndet på spår, kontaktledning eller baliser.

En aktörskonstellation fokuserar på entreprenörens möjlighet att uppfylla krav på belastad mätning efter spårstabiliserande arbeten i underhållskontrakt genom att montera mätutrustning på arbetsfordon. Dock går tekniken även att montera på fordon i reguljär trafik. Denna teknik baseras på samma standarder som mätvagnen och är jämförbar avseende prestanda och integrering med analysverktyg som t.ex. Optram.

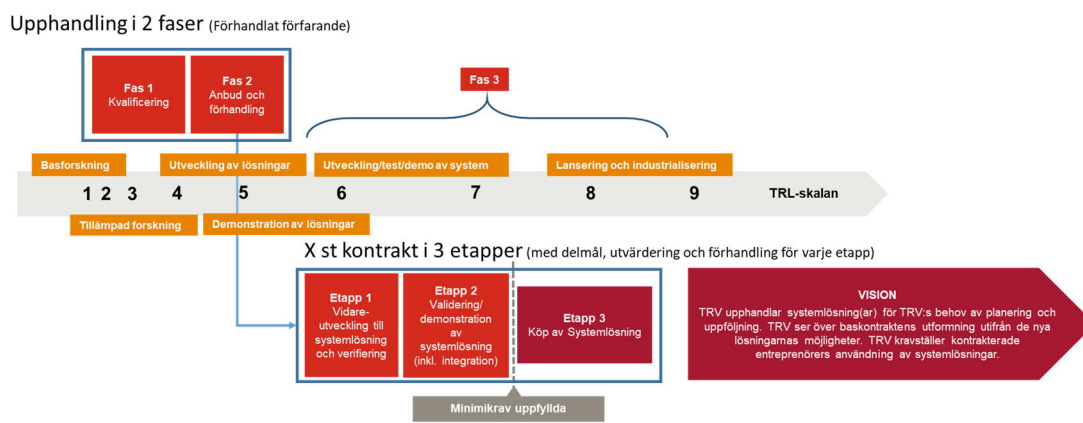
Ingen av deltagande aktörer fokuserar tydligt på trippel-loops-lärande, dvs. aktiviteter för att förbättra hur man styr och leder underhållet. Endast en aktör beaktar tydligt driftsäkerhetsförbättring genom att ifrågasätta existerande regelverk för manuell tillståndsbedömning och fokusera på att ersätta den med maskinell, dvs. planera underhållssäkerhet. Majoriteten av aktörerna fokuserar på operativ och taktisk förvaltning av anläggningen genom produktivetsförbättringar av aktiviteter som att planera, genomföra och utvärdera underhållet i enlighet med existerande regelverk.

För ytterligare detaljer om marknadsdialogen hänvisas till Söderholm (2020d, 2020e).

#### 4.5. Upphandlingsstrategi

Baserat på resultat från genomförda aktiviteterna invärldsanalys, behovsanalys, omvärldsanalys och marknadsanalys/-dialog är bedömningen att det inte finns lösningar som enbart kräver anpassning till Trafikverkets behov. Denna bedömning baseras på kriterier för nytta inom järnvägstrafiken (t.ex. säkerhet och punktlighet), effekter på järnvägsinfrastrukturen och dess förvaltning (t.ex. driftsäkerhet och livstidskostnad), utformning av tillståndsbaserat underhåll (ändamålsenlighet, effektivitet och produktivitet), genomförbarhet (t.ex. integrering med Trafikverkets it-miljö, kontrakt och avtal) samt efterlevnad (t.ex. avseende järnvägssäkerhet, driftsäkerhet och informationssäkerhet). Utifrån detta är det lämpligt att genomföra en upphandling av nya lösningar. Den valda upphandlingsstrategin beskrivs övergripande i Figur 18 nedan. För upphandlingsprocessen tillämpas ett förhandlat förfarande med föregående annonsering för upphandling i två faser (fas 1: kvalificering samt fas 2: anbud och förhandling) och kontraktet är uppbyggt i tre etapper enligt innovationspartnerskap. De tre etapperna är 1: vidareutveckling till systemlösning och verifiering; 2: validering/demonstration av systemlösning (inklusive integration); samt etapp 3: köp av systemlösning. Efter varje etapp genomförs en utvärdering och ev. förhandling. Efter godkänd demonstration, utvärdering och ev. förhandling i slutet av etapp 2 genomförs köp av tjänsten från en eller flera leverantörer i etapp 3. Den fortsatta tillämpningen av tjänsten beslutas utifrån dess initiala tillämpning i kontraktets etapp 3, se Trafikverkets vision i Figur 18.





Figur 18. Vald upphandlingsstrategi för utformad innovationsupphandling.

## 4.6. Projektidé

Upprättad projekttid dokumenteras i Trafikverkets mall för "Ansökan – Förslag anskaffning FoI-tjänster". Den projekttitel som arbetats fram är "Innovationsupphandling - Nya digitala lösningar för bättre koll på järnvägsanläggningen och ökad punktlighet". Ansökan skickas till FoI-portföljen Vidmakthålla och avser målområdena (tematisk avgränsning):

- Utvecklad beställar- och tillgångsförvaltarroll för ökad produktivitet och innovation
- Mer prediktiv underhållsplanering med tydliggjorda effekter
- Ökad analysförmåga utifrån samlad kunskap om anläggningarnas tillstånd

Innovationsupphandlingen bidrar till flera av målområdena inom portfölj Vidmakthålla och mer än hälften av de prioriterade forsknings- och innovationstema inom dessa målområden med att t.ex.:

- Använda innovationsupphandling för ett modernare och smartare underhåll
- Effektivisera besiktningar genom med automatiserad mätning och avancerande analys,
- Genom maskinella mätningar / fordonsdata och business intelligence utveckla framtidens affärsstrategier

Trafikverket har dessutom i Nationell plan slagit fast att använda innovationsupphandlingar som verktyg för att implementera innovation inom TRV:s ordinarie verksamhet. Detta projekt bidrar till lärande om användning av innovationsupphandling som verktyg för att gå från nytt till nytta.

Föreslagen innovationsupphandling omfattar nya digitala lösningar för bättre koll på järnvägsanläggningen och ökad punktlighet. Tillämpningsområdet är tillståndsbedömning av anläggningstyperna skarvfritt spår och kontaktledning omfattande lösningar som svarar mot Trafikverkets behov på en kombination av regelverk och teknik.

Visionen är att innovationerna bidrar till en aktiv förvaltning av en hållbar och uppkopplad anläggning baserat på dynamiska underhållsprogram och proaktiva underhållsåtgärder i anläggningen. Det omfattar både produktivetsförbättringar inom ramen för existerande regelverk, men även driftsäkerhetsförbättringar där regelverket utmanas och det tekniska systemets funktionssäkerhet och underhållsmässighet kan förbättras.

Syftet är att digitalisera tillståndsbaserat underhåll inom järnväg för att minska trafikstörningar genom ökad kunskap om effektsamband relaterade till anläggningens degradering och underhållsåtgärder.

Det huvudsakliga målet är att genom förbättrad produktivitet och driftsäkerhet minska trafikstörningar orsakade av anläggningens tillstånd samt dess underhåll. Det uppnås genom att reducera det trafikstörande avhjälpande underhållet och förbättra det förebyggande underhållet. Exempel på mål för att uppnå det är (se även Figur 19 för en övergripande sammanfattning):

- Minska antalet A- och V-anmärkningar för skarvfritt spår som genereras av maskinell och manuell besiktning.
- Minska antalet M-anmärkningar för skarvfritt spår och kontaktledning som påverkar tidtabellen och potentiellt även trafiken (genom tillståndsbedömning som medger längre framförhållning än tre månader för åtgärder som vanligtvis kräver mer än tre timmar i anläggningen, t.ex. räbbyte).
- Minska antalet Ofelia-ärenden som är relaterade till potentiellt trafikstörande fel för skarvfritt spår och kontaktledning (orsakade av t.ex. bristfälligt förebyggande underhåll och händelser som fallna träd).
- Minska risk för trafikpåverkan för genomförandet av underhållsåtgärder i anläggningen relaterade till skarvfritt spår och kontaktledning (t.ex. tillståndsbedömning och efterföljande åtgärder för att förebygga feluppkomst genom t.ex. samplanering).
- Minska tid för trafikrestriktioner efter genomförd underhållsåtgärd (t.ex. spårstabiliserande arbeten).
- Förbättra val av ändamålsenliga och effektiva underhållsåtgärder baserat på upprättade effektsamband om anläggningens degradering och underhållsåtgärdernas effekt (t.ex. mellan en provisorisk eller en mer genomgripande åtgärd för att hantera spårslägesfel med geotekniska åtgärder)
- Genomföra produktivetsförbättringar inom underhållsaktiviteter som planering, genomförande och utvärdering inom existerande regelverk på operativ, taktisk och strategisk nivå.
- Genomföra driftsäkerhetsförbättringar av regelverk samt funktionssäkerhet och underhållsmässighet relaterat till anläggning samt system och komponenter.
- Reducera sannolikheten för säkerhetskritiska fel (möjlig direkt säkerhetspåverkan under planerad trafik) till en acceptabel nivå.
- Förbättra kostnadseffektiviteten för fel som inte är säkerhetskritiska (kostnaden för förebyggande åtgärder är lägre än konsekvenskostnaden för trafik, drift och underhåll).

Preliminär projektstart bedöms vara 2021-04-21 och projektslut bedöms vara 2023-10-31 med en total projektbudget på 6 300 000 SEK. För ytterligare detaljer hänvisas till upprättad projekttid, se Söderholm et al. (2021).

## 5 Diskussion

I detta kapitel diskuteras förstudiens resultat samt val av metod och material i relation till förstudiens huvudaktiviteter.

### 5.1. Invärldsanalys

Genomförd invärldsanalys är processororienterad, både vad gäller genomförande och resultat. En anledning till detta är att rekommenderade arbetsätt och verktyg för kundfokuserade och värdeskapande verksamhetsanalyser ofta är processbaserade, t.ex. tjänstekartläggningar, kontinuitetsanalyser, kvalitetsutvärderingar och mognadsbedömningar. En annan anledning till processororienteringen är att tillämpningsområdet automatiserad mätning syftar till att samla in, bearbeta och tillhandahålla information om anläggningens tillstånd avseende krävda funktioner som underlag till en proaktiv tillgångsförvaltning. Denna övergripande informationshanteringsprocess, som del av tillgångsförvaltningen, är liksom själva järnvägsanläggningen relativt stabil över tid och oberoende av utformningen av olika organisationer och organisatoriska delar samt uppdelningen av ansvar dem emellan. En tredje anledning till att välja ett processororienterat arbetsätt är att ansvariga för processer inom Trafikverket ska driva arbetet med processförbättringar. Genom detta förbättringsarbete så kan processförvaltningen beakta nya möjligheter samt ställa krav på tillämpningen av stöttande arbetsätt och verktyg samtidigt som behov från ansvariga för leveranser i processerna ska beaktas.

Det teoretiska ramverket som ligger till grund för hantering av empiriskt material baseras på internationell, europeisk och svensk standard. Anledningen till detta är att standarder är bästa överenskomna tillämpningar inom ett område där det finns ett omfattande internationellt arbete bakom och uppdateringar sker regelbundet. I första hand har standarder inom tillförlitlighetsområdet tillämpats eftersom det är kärnan i det bredare standardiseringsområdet tillgångsförvaltning och även omfattar det smalare standardiseringsområdet underhåll. Det finns ett 60-tal olika harmoniserade och tillämpningsneutrala tillförlitlighetsstandarder inom allt från ledning och ekonomi (t.ex. kravställning, livscykelkostnad, reservdelsförsörjning och integrerat logistikstöd), konstruktion (t.ex. felträdsanalys, händelsträdsanalys, mänskliga faktorer och rotorsaksanalys), risk (t.ex. projektledning, utvärderingsmetoder och sannolikhetsbaserad riskanalys) till statistiska tillämpningar för komponenter och reparerbara system (t.ex. fördelningsanalys, stresstest, funktionssäkerhetstillväxt och Markovanalys).

Baserat på invärldsanalysens processororientering så har Trafikverkets processkarta varit utgångspunkt för identifiering av projektets kunder och intressenter. Primära kunder är förvaltningarna av huvudprocessen "Samla in och bearbeta information om vägar och järnvägar" samt stödprocessen "Utveckla och förvalta Trafikverkets infrastrukturregelverk" i sammankopplingen via huvudprocessens aktivitet "Ta fram underhållsstrategier". Även förvaltningen av stödprocessen "Hantera system- och komponentutveckling" bedöms vara en intern kund då de förvaltar arbetsätt och verktyg som kan användas för att stötta framtagandet av underhållsstrategier. Intressenter till projektet är primärt de processförvaltningar som tar del av aktiviteten "Ta fram underhållsstrategier". Sekundära kunder är förvaltningarna för huvudprocessen "Forska och ta fram innovation" samt stödprocessen "Planera och genomföra inköp" i och med att projektet tillämpar processerna för styrning respektive genomförande och kan bidra till en integrering av dem. Utöver processansvar och leveransansvar kopplat till dessa så finns det ett flertal program och

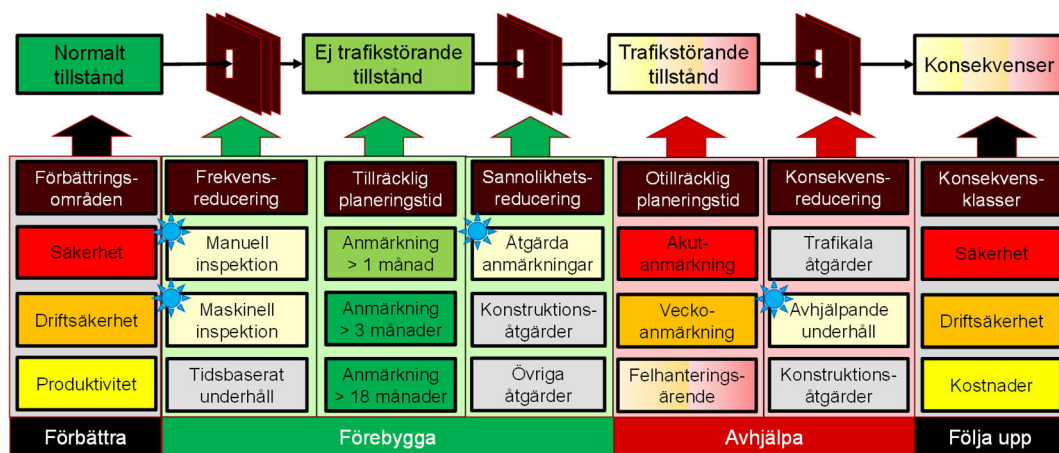
projekt inom både tillämpningsområdet automatiserad mätning och arbetssätt kopplat till tillgångsstrategier, underhållsstrategier och underhållsprogram. Se även avsnitt 3 "Resultat" för mer detaljer.

En indikation på utvecklingsbehovet kopplat till underhållsstrategier där automatiserad mätning är en delmängd samt integreringen av processer som stöttar innovationsupphandling återfinns i den sammanfattande egenutvärderingen och stöttar de resultat som erhållits via personlig kommunikation med involverade personer. Avseende utvecklingsbehovet av arbetssättet för att ta fram underhållsstrategier samt att utveckla och förvalta Trafikverkets infrastrukturregelverk så är det ett bra tillfälle att använda befintliga standarder som utgångspunkt. I arbetet med utveckling och förbättring av processerna så kan förstudien samt eventuellt efterföljande innovationsupphandling vara ett stöd. Det då projektet planerar att använda standarderna för utveckling av delmängden behovsbaserad automatiserad mätning avseende vald tillämpning som del av ett underhållsprogram. Genom att tillämpa standarder för utveckling av ett nytt underhållsprogram som tar hänsyn till både verksamhetens behov och digitaliseringens möjligheter så går det att uppnå ökad ändamålsenlighet. Detta genom driftsäkerhetsförbättringar som baseras på vad som är de rätta underhållsaktiviteterna att genomföra och utmana existerande underhållsprogram. Som komplement till driftsäkerhetsförbättringar så kommer även existerande underhållsprogram att användas som utgångspunkt för att identifiera möjliga produktivitetsförbättringar baserat på en digitalisering för att genomföra nuvarande underhållsaktiviteter på rätt och förhoppningsvis ett bättre sätt.

Ansvariga för leveranser av t.ex. strategier för underhåll av järnvägsanläggningen, analys av järnvägsanläggningens tekniska och funktionella tillstånd på olika nivåer samt infrastrukturregelverk inom järnväg återfinns huvudsakligen inom verksamhetsområde Underhåll. Det omfattar även förvaltningen av existerande regelverk avseende besiktning, inspektion och tillståndsbedömning av järnvägsanläggningen, vilka kommer att påverkas av ett nytt underhållsprogram som tillvaratar möjligheterna med automatiserad mätning.

## 5.2. Behovsanalys

I Figur 19 beskrivs på en övergripande nivå behovet med hjälp av en barriärmodell som på en aggregerad nivå följer logiken i FMECA (se t.ex. Söderholm & Nilsen, 2017). Barriärmodellen beskriver på högsta nivå anläggningens tillstånd i olika stadier av degradering från vänster till höger. Under tillstånden finns en mer detaljerad beskrivning utifrån ett antal egenskaper som påverkar det tillståndsbaserade underhållet. För att förhindra en försämring av anläggningens tillstånd samt relaterade oönskade konsekvenser finns förebyggande och avhjälpande barriärer som omfattar olika typer av åtgärder. De förebyggande barriärerna fokuserar på att reducera frekvens och sannolikhet för tillståndsförsämringar av anläggningen. De avhjälpande barriärerna fokuserar på att lindra konsekvenserna vid ett trafikstörande tillstånd. Primära aktiviteter relaterade till föreslagen innovationsupphandling indikeras med blå symboler och åtgärder som huvudsakligen hamnar utanför är gråmarkerade. En mer detaljerad beskrivning av mål i relation till Figur 19 återfinns i avsnitt 4.6 (Projektidé).



Figur 19. *Principiell sammanfattning av behovet relaterat till en digitalisering av tillståndsbedömning inom järnväg med förebyggande och avhjälpare barriärer för hantering av anläggningens tillstånd och relaterade konsekvenser. För detaljer hänvisas till angivna mål i avsnitt 4.6 (Projektidé).*

De största möjligheterna kopplade till innovationsupphandlingen är relaterade till dess angelägenhet medan utmaningarna till största delen är relaterade till dess genomförbarhet. De två största möjligheterna som bör tas till vara är "Måluppfyllnad och strategier" samt "Politisk angelägenhet". Dessa två möjligheter kan användas för att stärka övriga möjligheter samt även bidra i hanteringen av de flesta utmaningarna (förmåga och mottaglighet hos berörda användare samt antal berörda användare och intressenter), t.ex. via information, kommunikation och utbildning.

Exempel på en stor utmaning som kan hanteras via en väl genomarbetad och förankrad projektidé för innovationsupphandlingen är tillgång till resurser. Då innovationsupphandlingen är relaterad till ett initialt digitaliseringslyft med efterföljande digital transformering av det tillståndsbaserade underhållet är resurser inom juridik och teknik (driftsäkerhet, järnväg och it) centrala och måste säkras. I och med att förstudien har etablerat en projektorganisation med bl.a. styrgrupp, projektgrupp och referensgrupp bör dessa även användas inom ramen för innovationsupphandlingen. I och med att arbetsinsatsen för primärt referensgruppen troligtvis kommer att bli mer omfattande bör finansiering och förankring av deras medverkan säkras inför innovationsupphandlingen. En annan viktig del är tillämpningen av basunderhållskontrakt under själva innovationsupphandlingen, men även i efterföljande affär på både kort och lång sikt. Dock förväntas nyttan av innovationsupphandlingen inte enbart uppstå i den operativa förvaltningen av anläggningen, utan även på taktisk och strategisk nivå samt även i förvaltningen av system och regelverk (jmf. aktiviteterna i den generella underhållsprocessen i Figur 1).

### 5.2.1. Spår

Driftsäkerhetsanalysen visar att flest merförseningar och störda tåg relaterade till spår är orsakade av dåligt spårsläge uppkomna på grund av geotekniska orsaker. I dessa fall är underhållsåtgärder som justering, stoppning, spårriktning och lyftning ofta inte tillräckliga utan resulterar i återkommande spårslägesfel. Även i de fall som det inte finns någon känd orsak vidtas samma åtgärder. Därefter är de två vanligaste orsakerna till dåligt spårsläge materialutmattning och åldring samt bristfälligt underhåll, vilka båda kan klassas som ett felaktigt underhåll. Materialutmattning och åldring är orsakat av ett uteblivet förebyggande underhåll medan ett bristfälligt underhåll är utfört, men inte på ett tillräckligt bra sätt. För

att stötta beslut om ändamålsenliga och effektiva underhållsåtgärder som inte resulterar i återkommande spårålagssfel är etableringen av effektsamband mellan orsak och åtgärd värdefull. Dessa fel och åtgärder är relaterade till spårgeometri som är den övergripande krävda funktionen hos spår. Dagens maskinella tillståndsbedömning av spår fokuserar på spårgeometri och åtgärder som spårriktning och reinvesteringar utifrån analys i Optram samt prediktering av förändringen av spårgeometri. Dessa predikteringsmodeller är huvudsakligen datadrivna, medan kompletterande effektsamband på lägre funktionsnivåer också kan vara mer baserade på fysikaliska fenomen. För att bidra till ett mer proaktivt, effektivt och ändamålsenligt underhåll bör även krävda funktioner på lägre nivåer inom spår tillståndsbedömmas, vilket idag huvudsakligen sker genom de manuella underhålls- och säkerhetsbesiktningarna.

En automatiserad mätning av spår som ska komplettera dagens maskinella besiktning gör mest nytta på bandelar med lägre besiktningssklasser. Detta eftersom andelen anmärkningar med kort åtgärdstid ökar då tiden mellan besiktningar ökar (minskande besiktningssklass). Tiden mellan besiktningar måste dock minskas i alla besiktningssklasser för att få en mer ändamålsenlig tillståndsbedömning och undvika anmärkningar med kort åtgärdstid. Det kan åstadkommas med en kompletterande automatisk mätning.

För maskinell besiktning av spår tenderar andelen anmärkningar med kort åtgärdstid att öka över tid för besiktningssklasser med färre besiktningstillfällen, medan den är relativt stabil eller kanske minskar för de två besiktningssklasserna med flest besiktningstillfällen. Förändringen kan bero förbättrad mätteknik och ökad möjlighet att upptäcka avvikelser eller på att anläggningens tillstånd försämras allt snabbare över tid och därmed genererar fler anmärkningar med kort åtgärdstid. En kompletterande automatiserad mätning kan ge ökad kunskap om orsakerna till detta genom möjligheten att utveckla effektsamband mellan orsak och verkan.

En automatiserad mätning av spår som kompletterar den maskinella bör omfatta skevnings- och spårviddsfel som idag genererar flest anmärkningar med kort åtgärdstid. Det beror troligtvis på att dessa är trafiksäkerhetsfarliga och kan leda till urspårning. En kompletterande automatiserad mätning kan bidra till ökad ändamålsenlighet av tillståndsbedömningen om risknivån kan minskas utan att vidta trafikala åtgärder. Övriga spårålagssfel genererar anmärkningar med längre åtgärdstid, troligtvis då de inte är säkerhetskritiska. För att dessa spårålagssfel ska ingå i en kompletterande automatiserad mätning måste det vara kostnadseffektivt i förhållande till dagens tillämpning.

För manuell säkerhetsbesiktning av spår finns en tendens att andelen anmärkningar med kort åtgärdstid avtar med minskad tid mellan besiktningstillfällena. Förändringen av antalet anmärkningar över tid från den manuella säkerhetsbesiktningen tyder på att B3 (besiktningssklass 3) försämras, medan B4 (besiktningssklass 4) verkar förbättras. Förändringen kan bero på effekten av avhjälpare och förebyggande underhåll eller på förändringstakten av anläggningens degradering.

Baserat på förekomsten av anmärkningar från den manuella säkerhetsbesiktningen av skarvfritt spår bör en automatisering av denna tillståndsbedömning omfatta anläggningsdelarna befästning sliper, räl och ballast i angiven ordning. Prioriterade orsaker till anmärkningar från den manuella säkerhetsbesiktningen som bör omfattas vid en automatisering är saknade eller lösa befästningar då dessa leder till anmärkningar som borde kunna förebyggas. Att inte åtgärda saknade eller lösa befästningar i tid leder även till risk för spårviddsökning som är ett urspårningsfarligt fel och därför genererar trafikstörningar. Besiktningssklass B3 verkar vara mest problematisk när det gäller

utvecklingen av anmärkningar från den manuella säkerhetsbesiktningen av spår, medan B4 verkar förbättras och övrig besiktningsskylar (B1, B2 och B5) ligger mer konstant över tid.

Resultatet från den manuella underhållsbesiktningen av spår tyder på att en automatiserad mätning bör fokusera på anläggningsdelarna ballast, befästning, sliper och räl i nämnd ordning. Anläggningsdelarna är de samma som indikeras vid en analys av den manuella säkerhetsbesiktningen, men det relativa antalet anmärkningar per anläggningsdel är olika. Även orsakerna till anmärkning kan vara de samma för underhålls- respektive säkerhetsbesiktning (t.ex. saknad ballast eller befästning), men även vara olika (t.ex. förekommer inte anmärkning om vegetation i ballast inom säkerhetsbesiktningen). För att undvika anmärkningar vid säkerhetsbesiktningen bör ballast, befästning och sliper inkluderas i en automatisering av den manuella underhållsbesiktningen.

### 5.2.2. Kontaktledning

Avseende kontaktledningssystemet genererar tråd, lina och kontaktledningen flest förseningsminuter. Ur ett trafikalt perspektiv bör dock en automatiserad mätning som fokuserar på kontaktledningssystemet förutom anläggningsdelarna tråd, lina och kontaktledning även beakta isolator och kabel, men även uteliggare. En tidigare innovationsupphandling har fokuserat på problematik med bärlinan. Erfarenheter från den tidigare innovationsupphandlingen bör omhändertas.

För tråd och lina samt kontaktledning är de fyra vanligaste felorsakerna ingen känd orsak, materialutmattning/åldrande, tråd samt tågfordon i angiven ordning. En automatiserad mätning som övervakar gränssnittet mellan kontaktledning och strömavtagare bedöms ej bidra till ökad kunskap för att identifiera idag okända orsaker, materialutmattning/åldrande samt tågfordonens relation till kontaktledningen (Hjort & Larsson, 2020). Dock finns det flera olika initiativ för att tillämpa automatiserade mätning baserad på fordonens egna övervakningssystem eller fordonsbaserade sensorer för övervakning av kontaktledningen (t.ex. Uppsam, Förutse störningar TTT och Fordondata i Optram, se Hjort & Larsson, 2020). Erfarenheterna från dessa initiativ bör naturligtvis tas tillvara.

Det största värdet med att använda fordonens egna övervakningssystem bedöms vara att de indikerar hur egenskaper i kontaktledningen påverkar fordonen negativt, vilket kan användas för att utveckla analys av befintlig mätvagnsdata i Optram (Hjort & Larsson, 2020). Fordonsbaserade sensorer som mäter acceleration bedöms ha begränsat värde då de indikerar avvikelser som är svåra att ta ställning till, kända anläggningsdelar (t.ex. rörliga broar, sektionisatorer eller låga växeltrådar) eller avvikelser som bock på tråden som slits ned via tågpassager (Hjort & Larsson, 2020). Sammanfattningsvis är det en väldigt liten andel av kontaktledningsfel som kan upptäckas och förebyggas via mätning på strömavtagaren (Hjort & Larsson, 2020). Anledningen till detta är att de flesta kontakledningsfel är svår att förutse då fel och haveri sker samtidigt, endast fel som är relaterade till den mekaniska strömavtagaren detekteras och att kontaktledningssystemet omfattar många delar som aldrig är i kontakt med strömavtagaren (Hjort & Larsson, 2020).

En djupare analys av hur fordonsbaserad mätning av gränssnittet mellan strömavtagare och kontaktledning kan förhindra de 180 feltyper som Trafikverket använder för kontaktledningssystemet visar att (Hjort & Larsson, 2020):

- 27 feltyper kan upptäckas via sensorer eller fordonsindikeringar.
- 17 av dessa 27 feltyper kan upptäckas med sensordata.
- Majoriteten av dessa 17 feltyper är oftast inte akuta och de som är akuta leder vanligtvis till haveri.

- Sannolikheten att något av dessa fel skulle kunna förhindras av ytterligare sensordata bedöms som extremt liten eftersom de oftast inte är akuta eller att de utvecklas under många månader, vilket innebär att de kan fångas upp med dagens mätmetod.

Om man utgår från störningsdata bedöms ungefär 16% av orsakerna kunna detekteras med fordon. Dessa orsaker är (Hjort & Larsson, 2019):

- Islag som innebär att strömavtagare har fastnat eller slagit i kontaktledningsdetaljer så ett haveri sker, dock svårt att avgöra om orsaken är strömavtagaren eller kontaktledning. (3%)
- Felaktigt montage som t.ex. felaktiga temperaturinställning, avsaknad av växelöverkopplingar, utmatningar, driftjordar, anslutningar till sugtransformatorer mm. som påverkar den elektriska funktionen eller den mekaniska strömavtagningen. (4%)
- Materialutmattning i bärtrådar, utmatningslinor, driftjordar, anslutningar och utmatningar som med årens lopp böjs och sträcks många gånger till dess att de till sist går av eller att hög ström med tiden förstör linan. Även kontaktråd som slitats ned tills den brister. (7%)
- Materialutmattning i sektionsisolatorer som utsätts för både mekaniskt och elektriskt slitage, t.ex. sektionsisolatorer med jordhorn. (2%)

En automatiserad mätning av kontaktledningssystemet som även omfattar tråd och lina för att öka kunskapen om idag okända orsaker samt materialutmattning/åldrande kan dock inte enbart baseras på gränssnittet mellan kontaktledning och strömavtagare. För att även omfatta tråd som kan påverka tråd och lina samt kontaktledning krävs en ytterligare anpassning av den automatiserade mätningen. Idag finns bl.a. laser och bilder från ERTMS-projektering och FOMUL-mätningar som troligtvis kan användas för kompletterande tillståndsbedömningar utöver gränssnittet mellan kontaktledning och strömavtagare. Dock behöver befintlig data analyseras djupare för att t.ex. identifiera detekteringsmöjligheter, degraderingsegenskaper och lämpliga besiktningintervall.

För fel i kontaktledningssystemet med ingen känd orsak är de fyra vanligaste kompletterande beskrivningarna ej möjligt att definiera, inget fel, avbrott, materialbrott, deformation och kortslutning för både tråd och lina samt kontaktledning. Dock bedöms en automatiserad mätning som fokuserar på gränssnittet mellan kontaktledning och strömavtagare inte bidra med ökad kunskap inom dessa områden (Hjort & Larsson, 2020). Därför bör en automatiserad mätning även omfatta tråd och lina, utöver gränssnittet mellan infrastruktur och fordon. Detta för att ytterligare bidra till en reduktion av det avhjälpande underhållet och trafikstörningar.

För maskinell besiktning av kontaktledning verkar det som att besiktningintervall kan ökas något då ett ökat besiktningintervall tenderar att resultera i anmärkningar som har längre åtgärdstid än tre månader samtidigt som anmärkningar med kortare åtgärdstid ej uppkommer. Samtidigt kan besiktningsskyltar med sex besiktningar per år (två månader mellan varje besiktning) göra att anmärkningar med en åtgärdstid på tre månader förekommer i två efterföljande besiktningar.

En automatisering av den manuella säkerhetsbesiktningen av kontaktledning bör fokusera på närområde för uteliggare och trådläge samt bärande konstruktioner som stagnation och stolpe. Avspänning inom närområde samt skyddsjord är också intressant då det genererar



flest anmärkningar, men det kan vara utmanande att automatisera denna tillståndsbedömning.

### 5.2.3. Jämförelse mellan spår och kontaktledning

Det finns några egenskaper hos spår och kontaktledning som gör att lösningar för en digitalisering av deras respektive tillståndsbedömning skiljer sig åt. En likhet i den nuvarande maskinella tillståndsbedömningen baserad på mätvagnar är att den fokuserar på den övergripande krävda funktionen hos respektive anläggningstyp. Detta är spårläge för spår och trådläge för kontaktledning, vilket också är kritiska gränssnitt mot fordon via hjul respektive strömavtagare. En skillnad avseende den maskinella tillståndsbedömningen är att intervallet mellan tillståndsbedömningarna bör minskas för spår, men kan utökas för kontaktledning. Denna slutsats baseras på en förbättring av andelen mellan besiktningssanmärkningar med olika allvarlighetsgrad för befintliga besiktningsskyltar. Detta är en anledning till att det vara intressant med olika digitaliserade tillståndsbedömningar för respektive anläggningstyp som kan komplettera den nuvarande maskinella baserad på mätvagn.

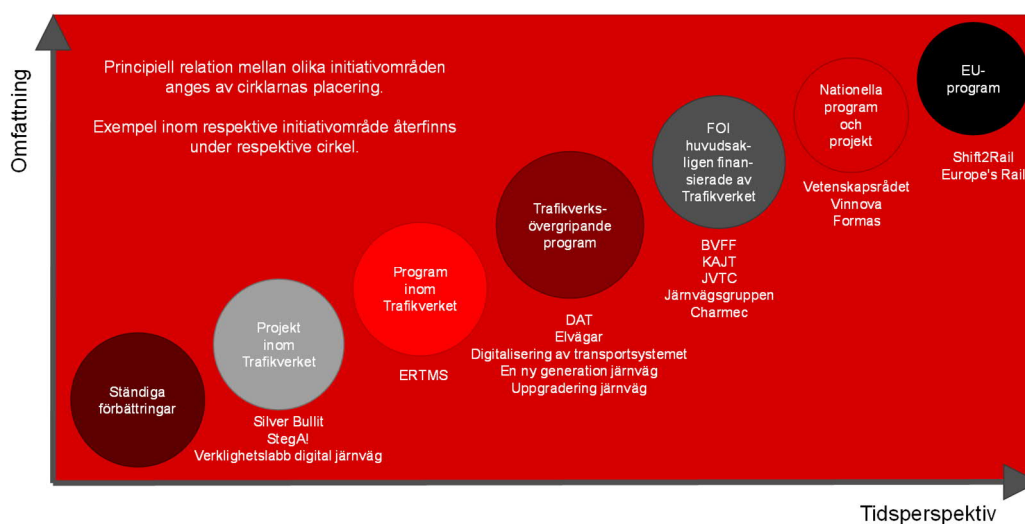
En annan särskiljande egenskap mellan de olika anläggningstyperna som kan påverka val av lösning är konsekvenserna vid fel. Som exempel har spår och kontaktledning olika egenskaper avseende frekvens på tågstörande fel och deras konsekvens på antal störda tåg och merförseningar. Spår har en högre frekvens av tågstörande fel, men när tågstörande fel inträffar för kontaktledningen så tenderar konsekvensen bli mer omfattande avseende merförseningar (även om antalet störda tåg tenderar att vara färre än för spår). Denna skillnad kan påverka valet av effektiva och ändamålsenliga lösningar för att förbättra det tillståndsbaserade underhållet med hjälp av digitalisering. En annan skillnad är att säkerhetsfarliga fel inom spår huvudsakligen är relaterade till trafiksäkerhet, medan säkerhetsfarliga fel i kontaktledningssystemet huvudsakligen är relaterade till elsäkerhet. Denna skillnad kan påverka valet av lämpliga digitaliseringslösningar för tillståndsbedömning.

En likhet mellan de två anläggningstyperna är de praktiska förutsättningarna för planering av åtgärder i anläggningen för att undvika trafikstörningar. För den operativa förvaltningen av järnvägsanläggningen kräver detta i de flesta fall ett intervall på minst tre månader, dvs. anmärkningar med tre månaders åtgärdsfrist. För den taktiska förvaltningen av anläggningen är det i många fall nödvändigt med 18 månaders framförhållning. Detta eftersom åtgärderna är banarbeten som vanligtvis är så pass omfattande att de bör komma med i tågplanen för att inte störa trafiken. Ändamålsenligheten för olika lösningar på behov för respektive nivå avgörs således av intervallet mellan potentiellt fel och funktionellt fel (PF-intervallet), som ska vara tillräckligt långt för att möjliggöra både tillståndsövervakningsåtgärden och vidtagna åtgärder för att förhindra att ett funktionellt fel uppstår.

För att bedöma kostnadseffektiviteten i tillämpade och potentiella lösningar för både spår och kontaktledning behöver data om kostnader finnas tillgängliga. Det är dock en utmaning att få fram dessa kostnader på åtgärdsnivå, bl.a. på grund av utformningen av kontrakt och registrering av kostnader. Detta kommer förhoppningsvis att förbättras i och med Trafikverkets implementering av ett gemensamt underhållsstöd som omfattar Maximo. Det är speciellt viktigt för icke säkerhetskritiska fel där effektiviteten av informationslösningar inte baseras på en acceptabel risknivå utan på den relativa kostnaden mellan olika alternativ.

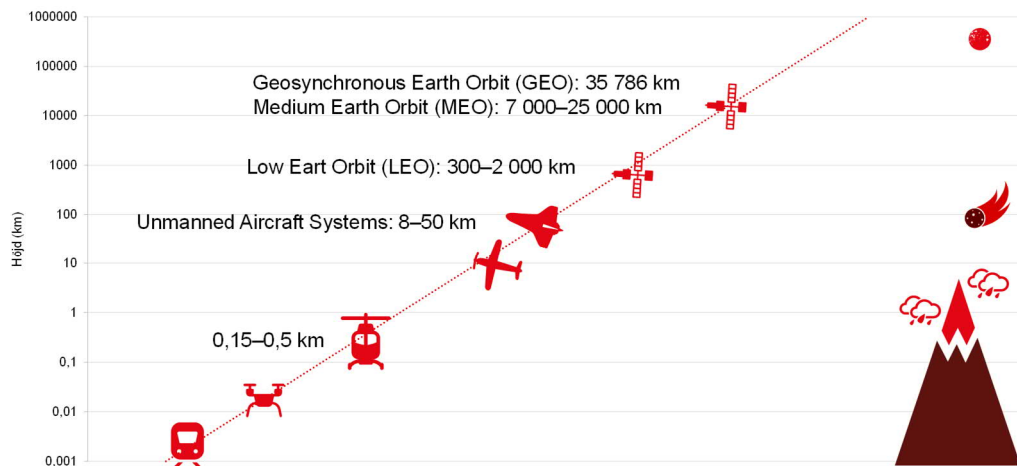
### 5.3. Omvärldsanalys

Omvärldsanalysen visar att det finns flera lösningar för automatiserad mätning inom järnväg med en hög teknisk mognadsgrad. Många lösningar har tagits fram inom forskning och utveckling (FoU) på nationell eller Europeisk nivå. De Europeiska projekten har huvudsakligen drivits inom program som Shift2Rail samt relaterade initiativ. De nationella FoU-projekten har bl.a. drivits inom ramen för Trafikverkets kompetenscentra inom järnväg, dvs. Charmec, Järnvägsgruppen och Järnvägstekniskt centrum (JVTC) samt branschprogrammen "Kapacitet i järnvägstrafiken" (KAJT) och "Bana väg för framtiden" (BVFF). Andra projekt har finansierats av Trafikverket via FoI-portföljerna utanför dessa forskningscentra, forskningsstiftelser som Vinnova (t.ex. inom ramen för InfraSweden 2030). Ett omfattande initiativ som fokuserat på digitalisering av underhållsverksamheten är ePilot som omfattade 50 aktörer och 38 delprojekt med minst tre deltagande parter under perioden 2013-2019. Ett annat initiativ som engagerar aktörer inom både järnväg och AI är branschsamverkan inom ramen för Tillsammans för tåg i tid (TTT). Exempel på olika initiativ relaterade till digital övervakning av järnvägsanläggningen illustreras i Figur 20 nedan.



Figur 20. Principiell relation mellan några olika initiativområden relaterade till digital övervakning av järnvägsanläggningen utifrån dimensionerna omfattning och tidsperspektiv. I figuren återfinns även exempel på enskilda initiativ och finansierare inom respektive område. Från Söderholm (2019).

Exempel på olika fordon som kan användas för övervakning av anläggningen illustreras i Figur 21. Rålgående fordon befinner sig inom det fria rummet. Drönare tillämpas både inom och strax utanför det fria rummet. Helikopter kan tillämpas på en höjd på mellan 150-600 m, men vanligtvis under molnen på en höjd av ca 500 m. Flygplan används vanligtvis på en molnfri höjd över 9000 meter, men för övervakning av anläggningen används både helikopter och flygplan vanligtvis på höjder som är lägre än andra tillämpningar. Satelliter används också för övervakning av anläggningen och positionering. Se t.ex. Karim et al. (2017), Söderholm et al. (2019), Granström (2019b) samt Karim et al. (2020) för beskrivning av olika fordonsbaserade tillämpningar för övervakning av anläggningen.



Figur 21. Exempel på fordon som kan användas för övervakning av järnvägsanläggningen. Dessa fordon kompletterar varandra samt övervakning integrerad i anläggningen. Till höger i bilden finns höjdreferens mot Mount Everest, moln, meteoriter samt månen. Från Söderholm et al. (2019).

Erfarenhet visar att initiativen ofta drivs i projekt och piloter med positiva resultat. I flera fall bedrivs även flera efterföljande projekt för vidareutveckling. Utmaningen är ofta att gå från projekt till en implementering i löpande verksamhet. Orsakerna till detta är säkert flera. Ett initiativ för att stötta samverkan för implementeringen av resultat från forskning och utveckling inom Trafikverkets verksamhet är "Verklighetslabb digital järnväg" (VDJ). Detta initiativ etablerade bl.a. en Projektportal och Externt arbetsrum för att driva samverkansprojekt inom branschen och dela data med varandra. Även samordning av existerande och tillkommande avtal för att stötta samverkansprojekt inom digitalisering utvecklades. En erfarenhet från VDJ, men även andra initiativ som ePilot, indikerar att innovationsupphandling är en möjlighet att få en implementering som kan stötts av den förmåga som VDJ etablerat. Omvärldsanalysen är nära relaterad till marknadsdialogen då det delvis är samma parter som identifierats i omvärldsanalysen och sedan involverats i marknadsdialogen. Det pågår även flera andra initiativ inom Trafikverket för att stötta externt datautbyte eller tillhandahålla data för avancerad analys (se Söderholm, 2019).

## 5.4. Marknadsdialog

Alla aktörer som involveras i marknadsdialogen fokuserar på produktivetsförbättringar. Många har arbetat inom olika projekt där lösningarnas tekniska potential påvisats. Relativt få tekniska lösningar har lyckats gå från projekt till implementering. Alla involverade aktörer tycker att det är intressant att leverantör och beställare gemensamt arbetar med innovation. Aktörer som arbetat aktivt med innovationer betonar vikten av att en kommande affär även ska ha inslag av fortsatt innovation då den tekniska utvecklingen går väldigt fort.

Endast en extern aktör fokuserar tydligt på driftsäkerhetsförbättringar. Anledningen till fokus på driftsäkerhetsförbättringar (och inte enbart produktivetsförbättringar) är troligtvis att aktören är verksam i ett land där infrastrukturförvaltaren efterfrågar det via funktionsbaserade underhållskontrakt. Dessutom har infrastrukturförvaltaren genomfört FMECA där lämpliga underhållsåtgärder har identifierats och klassificerats utifrån krävda funktioner och konsekvenserna när dessa ej uppnås, vilket stöttar identifieringen och genomförandet av driftsäkerhetsförbättringar utifrån t.ex. ny teknik. I Sverige har aktören dock inte haft möjlighet att implementera den teknik som de använder utomlands.

Majoriteten av involverade leverantörer fokuserar på att använda fordon för övervakning av anläggningen. Två leverantörer fokuserar på att montera integrerad övervakning i anläggningen. Avseende val av lösning kan det skilja sig mellan linjära objekt och punktobjekt samt i vilken utsträckning aktuellt anläggningsobjekt är uppkopplat. Här finns dock ett vägval, där t.ex. Japan satsar på att ha en så enkel anläggning som möjligt och låta fordonen vara mätinstrument (som kan underhållas när de återkommer till depå). Det andra alternativet är att göra anläggningen mer komplex med inbyggd övervakningsfunktionalitet som i sin tur också måste underhållas ute i fält. En behovsbaserad driftsäkerhetsanalys bör stötta valet av effektiva och ändamålsenliga underhållsåtgärder inom det tillståndsbaserade underhållet som även balanseras med utformningen av funktionssäkerhet och framförallt underhållsmässighet (t.ex. med avseende på inbyggd test- och övervakningsfunktionalitet) i anläggningen samt dess system och komponenter.

## 5.5. Upphandlingsstrategi

Under upphandlingsprocessen sker ev. förhandling med kvalificerade leverantörer som lämnat anbud. Baserat på genomförd omvärldsanalys och marknadsdialog kommer anbudsgivare att omfatta både existerande och nya leverantörer. Innovationsprocessen (kontraktsgenomförande) är sedan uppdelad i tre etapper där lösningar från alla kontrakterade leverantörer utvecklas och utvärderas utifrån uppfyllelse av Trafikverkets behov och krav. Parallellt sker en utveckling inom Trafikverket för att senare (etapp 3 i kontrakten) kunna köpa och implementera de utvecklade systemlösningar som uppfyller minimikrav och som bäst uppfyller Trafikverkets behov efter den slutgiltiga utvärderingen och förhandlingen efter genomförd demonstration (etapp 2). På detta sätt behandlas alla leverantörer lika och det finns förutsättningar att skapa en fungerande marknad där behovsbaserade lösningar kan upphandlas. Trafikverkets behov kan tydligt kommuniceras via bl.a. upprättad FMECA som också kan användas för att kontinuerligt ta fram och utvärdera nya lösningar som kan implementeras i den löpande verksamheten.

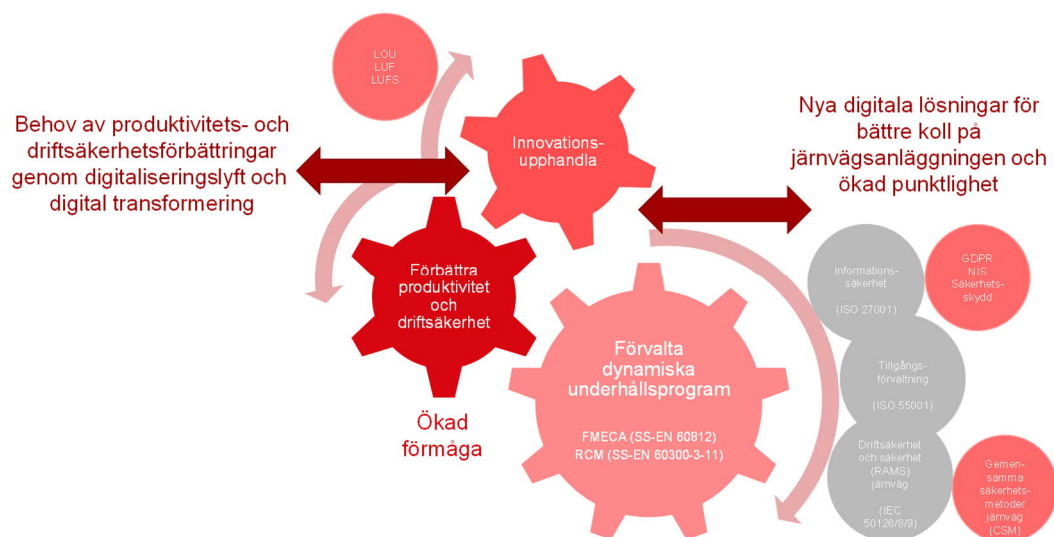
## 5.6. Projektidé

Den projektidé som tagits fram baseras på föregående aktiviteter inom förstudien (se Söderholm et al., 2021 för ytterligare detaljer). Projektidén utgör en sammanvägning av flera behov och möjligheter. Två viktiga behov är en ökad digitalisering inom det tillståndsbaserade underhållet respektive en utveckling av förmågan att arbeta systematiskt och aktivt med denna digitalisering. Den ökade digitaliseringen adresserar huvudsakligen produktivitetsförbättringar (att göra saker rätt och bättre), t.ex. aktiviteter som planering, genomförande och utvärdering av underhållet inom ramen för existerande regelverk. Förmågan att arbeta med digitaliseringen fokuserar huvudsakligen på driftsäkerhetsförbättringar (att göra rätt saker) genom att förändra regelverket (t.ex. underhållsprogram) eller tekniskt system och anläggning (primärt funktionssäkerhet och underhållsmässighet). En inledande innovationsupphandling kan bidra till ett initialt digitaliseringslyft.

För att åstadkomma en löpande digital transformering krävs att förmågan inom driftsäkerhet kombineras med en förmåga inom innovationsupphandling som båda uppfyller krav på efterlevnad. Exempel på lagkrav för Trafikverket relaterat till innovationsupphandling är LOU (Lagen om offentlig upphandling), LUF (Lagen om upphandling inom försörjningssektorerna) och LUFS (Lagen om upphandling på försvars- och säkerhetsområdet).

Ett exempel på författningskrav relaterat till ett digitaliserat tillståndsbaserat underhåll inom järnväg är GDPR-förordningen (Dataskyddsförordningen, General Data Protection Regulation). Ett annat område är informationssäkerhet för samhällsviktiga och digitala tjänster som omfattas av NIS-lagen (SFS 2018:1174), NIS-förordningen (SFS 2018:1175) och NIS-direktivet (EU 2016/1148). Ett tredje område är säkerhetsskydd som är relaterat till verksamhet som är av betydelse för Sveriges säkerhet eller som Sverige har förbundit sig att skydda genom internationella åtaganden, t.ex. Säkerhetsskyddslagen (2018:585), Säkerhetsskyddsförordningen (2018:658) och Säkerhetspolisens föreskrifter om säkerhetsskydd (PMFS 2019:2). Ett fjärde område är trafiksäkerhet inom järnväg som bl.a. regleras av gemensamma säkerhetsmetoder (CSM, Common safety methods) inom säkerhetsstyrningssystem (CSM SMS – EU/2018/762), övervakning (CSM MON - EG/1078/2012) samt riskvärdering och riskbedömning (CSM RA - EU/402/2013, EU/2015/1136).

För att uppfylla författningskraven ovan är standarder som SS-EN ISO 27001 (Informationssäkerhet), SS-EN IEC 50126 (RAMS), SS-EN IEC 60300-3-11 (RCM) och SS-EN IEC 60812 (FMEA och FMECA) tillämpbara. Se Figur 22 nedan.



Figur 22. Ökad förmåga att genomföra produktivets- och driftsäkerhetsförbättringar baserat på verksamhetens behov och digitaliseringens möjligheter med hjälp av innovationsupphandling och en aktiv tillgångsförvaltning.

### 5.6.1. Förbättra processer och implementera systematiskt arbetsätt inom driftsäkerhet

För att implementera ett systematiskt arbetsätt inom driftsäkerhet måste ansvariga för ett antal processer samverka för att bl.a. definiera krävd förmåga. Även leveransansvariga som tillämpar dessa processer måste utveckla sin faktiska förmåga. Implementeringen baseras huvudsakligen på standarder som SS-EN IEC 60812 (FMEA och FMECA) samt SS-EN IEC 60300-3-11 (RCM) som anger hur man ska arbeta med driftsäkerhet och bl.a. "levande underhållsprogram". Dessa standarder är harmoniserade med ledningssystemstandarder, t.ex. SS-EN ISO 55001 (tillgångs förvaltning) som på en övergripande nivå anger varför och vad som ska göras inom bl.a. driftsäkerhet. Standarden för tillgångs förvaltning är en av de ledningssystemstandarder som GD beslutat ska utgöra grunderna för Trafikverkets ledningssystem. Driftsäkerhetsstandarderna anger även på en mer detaljerad nivå hur olika aktiviteter ska göras jämfört med SS-EN IEC 50126 (RAMS) som är en kravstandard inom järnväg och inom Trafikverket är implementerad i stödprocessen "Hantera system- och

komponentutveckling" för framtagande av tekniskt godkänt järnvägsmaterial (TGM). Stödprocessen fokuserar på tekniska system och komponenter, medan standarderna även omfattar organisationens underhållssäkerhet med bl.a. förvaltning och tillämpning av underhållsprogram.

### 5.6.2. Utveckla leverantörsmarknaden och beställarrollen för nytt till nytta

Det är önskvärt med flera etablerade kommersiella aktörer med vilja och förmåga att erbjuda digitalt tillståndsbaserat underhåll av järnvägsanläggningen som är behovsbaserat. Nya aktörer förväntas tillkomma från den digitala sektorn för att tillhandahålla systemlösningar inom järnväg. Genom identifierade innovationer för att digitalisera det tillståndsbaserade underhållet utifrån verksamhetsbehov möjliggörs att gapet mellan tekniska möjligheter och organisatorisk förmåga minskar hos både beställare och leverantörer.

En samordnad tillämpning av stödprocessen "Planera och genomföra inköp" tillsammans med huvudprocessen "Forska och ta fram innovationer" skapar en förståelse samt höjd kunskap och faktisk tillämpning av innovationsupphandling hos Trafikverket och branschen. Detta bidrar till en fortsatt tillämpning av behovsbaserade innovationsprocesser (upphandling som strategiskt utvecklingsverktyg) som också stöttar en fortsatt digital transformering.

Existerande och nya aktörer inom järnväg får en ökad förmåga att utveckla och anpassa innovativa digitala lösningar utifrån Trafikverkets behov genom att utgå från fastställd FMECA och relaterat arbetssätt för att värdera tekniska möjligheter utifrån krävda funktioner och potentiella konsekvenser. Detta kräver även en utökad samordning mellan huvudprocessen "Forska och ta fram innovationer" och stödprocessen "Planera och genomföra inköp". Föreslagen innovationsupphandling stöttar ovanstående samverkan.

En viktig aktör är förvaltningen av FoI-portföljen Vidmakthålla (och andra FoI-portföljer), men även avdelningen Verksamhetsstyrning vid Underhåll som på övergripande nivå ska hålla samman verksamhetsområdets verksamhetsutveckling. Tillämpningen av innovationsupphandling borde beaktas i större utsträckning än idag som verktyg för FoI och verksamhetsutveckling. I och med föreslagen innovationsupphandling ges portföljen möjlighet att få en ökad erfarenhet inom området.

En annan viktig aktör är Underhållsdistrikten som tecknar underhållsavtal och har behov utifrån den operativa förvaltningen av anläggningen. Även Järnvägssystem har behov utifrån den strategiska och taktiska förvaltningen av anläggningen samt Teknik och miljö utifrån förvaltningen av system och komponenter. Avtal med systemleverantörer och underhållsentreprenörer bör beakta behovet av både produktivets- och driftsäkerhetsförbättringar där en ökad tillämpning av innovationsupphandling är värdefull. Aktivt deltagande i föreslagen innovationsupphandling från avdelningarna bidrar till att Trafikverket blir en mer professionell beställare.

Det är även nödvändigt att underhållskontraktens utformning tar höjd för test- och demonstrationsverksamhet. Det gäller både inom ramen för enskilda kontrakt, men även som resurs till FoI- och verksamhetsutvecklingsprojekt som kräver närvaro i anläggningen. Det underlättas om underhållsdistrikten får kunskap om förutsättningar inom kontraktet för innovation och utveckling inom sitt ansvar, men även om övriga avdelningar får kunskap om förutsättningarna att använda underhållskontrakten för FoI och verksamhetsutveckling.

### 5.6.3. Implementera i baskontrakt underhåll järnväg

Denna implementering är allmänt beskriven under tidigare rubriker, med fokus på distriktens roll och ansvar. För denna specifika innovationsupphandling beskrivs implementeringen övergripande i Figur 18, som illustrerar den övergripande planen för projektets genomförande.

När informationstjänster har utvecklats som Trafikverket kan upphandla kommer dessa att initialt erbjudas entreprenörer inom några få baskontrakt. Två potentiella kontrakt är Södra Malmbanan och Västra Stambanan som har utformning enligt Samverkan Hög. Även andra distrikt har visat ett stort intresse att delta i innovationsupphandlingen och vissa av dessa distrikt har även erfarenhet av att medverka i FoI-projekt. Efter denna pilottillämpning kan Trafikverket istället ställa krav i nya baskontrakt att entreprenören ska tillämpa systemlösningarna. Denna stegvisa implementering tillämpas bl.a. inom initiativet "Digital vinterväglagsinformation".

### 5.6.4. Integrera it-relaterade lösningar

Systemlösningarna omfattar bl.a. informationstjänster och förväntas huvudsakligen baseras på externa lösningar med webbgränssnitt och integrationsmöjligheter med bl.a. Optram och Maximo samt export via CSV-filer. Detta underlättar en initial implementering, varefter en större integrering med Trafikverkets it-miljö kan bli aktuell beroende på funktionalitet och mognad.

Optram innehåller resultatet av den maskinella säkerhetsbesiktningen, där anmärkningar registreras i Bessy tillsammans med anmärkningar från den manuella besiktningen och Ofelia innehåller relaterade fel. Kunskap och analysteknik utvecklat med dessa data bör vara tillgänglig för innovationsupphandlingen. Bessy bör även kunna användas för att registrera "anmärkningar" under denna och relaterade följande innovationsupphandlingar, så att dessa kan hanteras med ordinarie processer och arbetssätt, vilket har utvecklats inom ramen för Verklighetslabb digital järnväg. Således bör förvaltningen och användarna av dessa system involveras. Dock finns mycket data tillgänglig för externa parter via Lastkajen eller behörigheter via Arthur. Även initiativ som TRV-Labbs kan komma att användas beroende på dess utveckling.

För att administrativt hantera samverkansprojekt med externa parter inom innovationsupphandlingen kan Projektportalen användas då det finns funktionalitet för detta etablerad inom ramen för Verklighetslabb digital järnväg. Eftersom Projektportalen även används för investerings- och underhållsprojekt uppfylls bl.a. informationssäkerhetskrav. Projektet etablerade också ett Externt arbetsrum för delning av data som kan vara användbart. Således kommer förvaltningen av dessa lösningar att involveras i olika utsträckning.

Det kan bli aktuellt att tillämpa Trafikverkets lösningar för externt datautbyte. För intern hantering kan lösningar för avancerad dataanalys ("Silver bullit") vara aktuella. Detta är dock i senare skeden när lösningarna är etablerade. Innovationsupphandlingen kan generera krav och behov som bör beaktas inom dessa två initiativ.

### 5.6.5. Finansiera innovationsupphandlingen

Den huvudsakliga finansieringen av innovationsupphandlingen erhålls via FoI-portföljen Vidmakthålla. Trafikverket medfinansierar deltagande externa aktörer i enlighet med reglerna kring statligt stöd. Detta kräver att de externa aktörerna själva bidrar finansiellt i den utsträckning som gäller för respektive typ av aktör. Interna resurser vid Trafikverket

finansieras delvis via projektet, men även via ordinarie verksamhets- och förvaltningsplaner utifrån behov beskrivna i projektspecifikationen.



## 6 Referenser

- Argyris, C. & Schön, D. (1974). *Theory in Practice Increasing Professional Effectiveness*. Jossey-Bass Publishers, San Francisco.
- Banverket (2002). *Vinterutredning åtgärdsprogram inom järnvägssektorn*. (GD 02-111/OR40). Banverket, Borlänge.
- 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. (2012). *Kvalitet från behov till användning*. Studentlitteratur, Lund.
- Campbell, J. D. & Jardine, A. K. (2001). *Maintenance excellence: optimizing equipment life-cycle decisions*. CRC Press.
- Deloitte (2017). *Rewriting the rules for the digital age 2017 Global Human Capital Trends*.
- Eriksson, L. (2020). *Kontroll på järnvägsanläggningen med hjälp av modern teknik*. Tillgänglig: trafikverket.se; datum: 2020-04-21
- Eriksson, L. (2021a). *Digital transformering inom järnväg – Hantering av möjligheter och utmaningar*. Tillgänglig: trafikverket.se; datum: 2021-02-11
- Eriksson, L. (2021b). *Behovsprövat och prediktivt underhåll av järnvägsfordon i Europa*. Tillgänglig: trafikverket.se; datum: 2021-04-14
- Eriksson, L. (2021c). *Ökad nytta med automatiserad mätning av järnvägsanläggningen*. Tillgänglig: trafikverket.se; datum: 2021-04-16
- Eriksson, L. (2021d). *Kommunikativ aktivitetsplan förstudie för: Automatiserad mätning av järnvägsinfrastruktur*. Excel-dokument. Trafikverket, Solna.
- Granström, R. (2009). *DoU utredning av Banverkets vägskyddsanläggningar*. Teknisk Rapport, Vectura, Luleå.
- Granström, R. (2012). *Halvårsutvärdering förstärkt underhåll vägskyddsanläggningar BDL 524*. Rapport, Vectura, Luleå.
- Granström, R. (2019a). *Tillförlitlighetsbaserat underhåll inom Trafikverket - Demonstrator med växelvärm*. Rapport, Trafikverket, Luleå.
- Granström, R. (2019b). *Rail View, Sky View och Maintenance Go – Tillämpningar inom Trafikverket – Ett projekt inom Verklighetslabb Digital Järnväg*. Rapport, Trafikverket, Luleå.
- Granström, R., Söderholm, P., & Eriksson, S. (2020). Rail View, Sky View and Maintenance Go – Digitalisation within Railway Maintenance. In: *International Congress and Workshop on Industrial AI 2020*, 26-28 May, Luleå, Sweden.
- Gustavsson, M. & Kristina Säfsten, K. (2019). *Forskningsmetodik för ingenjörer och andra problemlösare*. Studentlitteratur, Lund.
- Hjort, J. & Larsson, P. (2019). *Lista störningar kontaktledning 2018*. Excel-dokument, Trafikverket, Underhåll, Teknik och miljö, Elkraft, Högspanningsledning och elsäkerhet.

Hjort, J. & Larsson, P. (2020). *Sammanfattande analys av fordonsbaserade lösningar för övervakning av gränssnittet mellan strömavtagare och kontaktledning*. PPT-presentation. Trafikverket, Underhåll, Teknik och miljö, Elkraft, Högspänningsledning och elsäkerhet.

Jägare, V., Karim, R., Söderholm, P., Larsson-Kråik, P. O., & Juntti, U. (2019). Change management in digitalised operation and maintenance of railway. *In International Heavy Haul Association (IHHA) STS 2019*, 10-14th June 2019, Narvik, Norway. (pp. 904-911).

JBS (2020). *TTT:s AI-dialog – Slutrapport*. Järnvägsbranschens samverkansforum (JBS).

Karim, H. & Sandberg, J. (2012). *Implementering av Utvecklingsresultat - Brister och Möjligheter. Ett utvecklingsprojekt inom ramen för verksamhetsnära utvecklingar*. Svevia

Karim, R., Jägare V., Juntti, U., & Glover, C. (2020). *The roadmap for digitalised operation and maintenance of railway - Results and findings*. Luleå tekniska universitet, Luleå.

Karim, R., Jägare V., Söderholm, P., Larsson-Kråik, P-O., Juntti, U., & Glover, C. (2017). *Slutrapport – ePilot - Ett samverkansprojekt inom järnväg*. Luleå tekniska universitet.

Karim, R., Westerberg, J., Galar, D., & Kumar, U. (2016). *Maintenance analytics—the new know in maintenance*. IFAC-PapersOnLine, 49(28), 214-219.

Morant, A. & Söderholm, P. (2021). *Förstudie automatiserad mätning av järnvägsinfrastruktur genom innovationsupphandling*. Slutrapport (TRV 2020/39092), Trafikverket, Luleå.

N 2013:02 "Utredningen om järnvägens organisation"

Patel, R. & Davidson, B. (2019). *Forskningsmetodikens grunder - Att planera, genomföra och rapportera en undersökning*. Studentlitteratur, Lund.

PULS (2020). *PULS – Trafikverkets system för planering, uppföljning, ledning och styrning*. Trafikverket, Borlänge. Informationsklass nivå 2 – Intern information.

Riksrevisionen (2010). *Underhåll av järnväg*. (RiR 2010:16)

Shewhart, W.A. & Deming, W.E. (1939). *Statistical Method from the viewpoint of Quality Control*. The Graduate School, U. S. Department of Agriculture.

Shewhart, W.A. (1931). *The Economic Control of Manufactured Product*. D. Van Nostrand Company.

Söderholm, P. & Bergquist, B. (2016). Business Analytics of Railway Robustness. *20<sup>th</sup> QMOD Conference*, August 4-7 2017, Elsinore, Denmark.

Söderholm, P. & Nilsen, T. (2017). Systematic risk-analysis to support a living maintenance programme for railway infrastructure. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 23.3. 326-340.

Söderholm, P. (2005). *Maintenance and continuous improvement of complex systems: linking stakeholder requirements to the use of built-in test systems*. PhD Thesis. Luleå tekniska universitet.

Söderholm, P. (2015). *Business intelligence and analytics of robustness within railway*. PM, Trafikverket, Luleå.

Söderholm, P. (2019). *Inventering av initiativ inom Trafikverket som är relaterade till övervakning av anläggningen*. PM (Ärendenummer: TRV 2016/32601), Trafikverket, Luleå.

Söderholm, P. (2020a). *Workshop Trafikverkets behov - Innovationsupphandling – Nya digitala lösningar för bättre koll på järnvägsanläggningen och ökad punktlighet*. PM (Ärendenummer: TRV 2020/39092), Trafikverket. Informationsklass nivå 2 – Intern information.

Söderholm, P. (2020b). *Invärldsanalys – Innovationsupphandling automatiserad mätning*. Rapport, Trafikverket. Informationsklass nivå 2 – Intern information.

Söderholm, P. (2020c). *Behovsanalys – Innovationsupphandling automatiserad mätning*. Rapport, Trafikverket. Informationsklass nivå 2 – Intern information.

Söderholm, P. (2020d). *Omvärldsanalys – Innovationsupphandling automatiserad mätning*. Rapport, Trafikverket. Informationsklass nivå 4 – känslig (klassningsgrund Offentlighets- och sekretesslagen 19:3)

Söderholm, P. (2020e). *Marknadsdialog – Innovationsupphandling automatiserad mätning*. Tjänsteanteckningar, Trafikverket. Informationsklass nivå 4 – känslig (klassningsgrund Offentlighets- och sekretesslagen 19:3)

Söderholm, P. (2021a). *Kontaktledning Bessy 2010-2020*. Excel-dokument, Trafikverket. Informationsklass nivå 2 – Intern information.

Söderholm, P. (2021b). *Spår Bessy 2015-2019*. Excel-dokument, Trafikverket. Informationsklass nivå 2 – Intern information.

Söderholm, P. (2021c). *Infrafel och tågstörande fel kontaktledning 2015-2019*. Excel-dokument, Trafikverket. Informationsklass nivå 2 – Intern information.

Söderholm, P. (2021d). *Infrafel och tågstörande fel spår 2015-2019*. Excel-dokument, Trafikverket. Informationsklass nivå 2 – Intern information.

Söderholm, P. (2021e). *Riskmatris tågstörande fel spår och kontaktledning 2015-2019*. LUPP-rapport, Trafikverket. Informationsklass nivå 2 – Intern information.

Söderholm, P., Carolin, A., Eriksson, L., Forsberg, M., Granström, R., Jägare, V., & Karim, R. (2019). *Verklighetslabb digital järnväg: Förmåga för ökad digitalisering och hållbarhet*. Trafikverket, Luleå.

Söderholm, P., Eliasson, J., Eriksson, L., Granström, R., Hedgren, E., Johansson, K., Morant, A., Nygårds, J., & Syk, M. (2021). *Innovationsupphandling - Nya digitala lösningar för bättre koll på järnvägsanläggningen och ökad punktlighet*. Blankett, Trafikverket.

SOU (2009:20) "Mer järnväg för pengarna". Statens offentliga utredningar, Elanders Sverige AB, Stockholm.

SOU (2010:69) "Förbättrad vinterberedskap inom järnvägen". Statens offentliga utredningar, Elanders Sverige AB, Stockholm.

SOU (2015:42) "Koll på anläggningen". Statens offentliga utredningar, Elanders Sverige AB, Stockholm.

SOU (2020:18) "Framtidens järnvägsunderhåll". Statens offentliga utredningar, Elanders Sverige AB, Stockholm.

SS-EN 60300-3-11:2010 (2010). *Ledning av tillförlitlighet - Del 3-11: Riktlinjer för funktionssäkerhetsinriktat underhåll*. Svensk elstandard (SEK), Stockholm.

SS-EN IEC 60812 .Tillförlitlighet - Feleffektanalys (FMEA och FMECA). Svensk elstandard (SEK), Stockholm.

Trafikverket (2009). *Underhållsbehovsanalys - Beslutsstöd för driftsäkerhetshöjning vägskyddsanläggningar. BVMall 1802 Underhållsbehovsanalys- Beslutsunderlag för underhållsåtgärd*. Trafikverket, Luleå.

Wargsjö, A., Fridolin, M., & Lundgren, R. (2019). *Nyttiggörande av FoI*. Rapport ver. 1.0. Trafikverket.

Yin, R.K. (2003). *Case Study Research: Design and Methods*. Third Edition. Sage Publications, Thousand Oaks, California.

Zikmund, W.G. (2000). *Business Research Methods*. Sixth Edition. Dryden Press, Fort Worth, Texas.



Trafikverket, Box 809, 971 25 Luleå. Besöksadress: Sundsbacken 2-4.  
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 020-600 650

[trafikverket.se](http://trafikverket.se)