

Drönarteknik vid järnvägsunderhåll

Philip Beermann & Lukas Nilsson

AVDELNINGEN FÖR PRODUKTUTVECKLING | INSTITUTIONEN FÖR
DESIGNVETENSKAPER | LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA | LUNDS
UNIVERSITET
2021

Examensarbete



Drönarteknik vid järnvägsunderhåll

Ett underprojekt till Framtidens Järnväg

Philip Beermann & Lukas Nilsson



LUNDS
UNIVERSITET

Drönarteknik vid järnvägsunderhåll

Ett underprojekt till Framtidens Järnväg

Copyright © 2021 Philip Beermann & Lukas Nilsson

Publicerad av
Institutionen för designvetenskaper
Lunds Tekniska Högskola, Lunds universitet
Box 118, 221 00 Lund

Ämne: Produktutveckling (MMKM05)
Avdelning: Produktutveckling
Huvudhandledare: Per Kristav
Examinator: Glenn Johansson

Abstract

The purpose of this thesis has been to analyze the potential and consequences of using drone technology for railway maintenance in Sweden. The work has been made in collaboration with the company Nordic Infracenter, as a sub-project to the project *Framtidens Järnväg*. The work has been based on various literature studies and interviews with experts in the drone and railway industry. The work has been limited to mainly analyzing the implementation of drone technology for switch heaters, overhead contact line and railway track.

The results show that drone technology could be applicable for certain railway inspections. In general, the technology is best suited for inspections in hard-to-reach places. However, it may be limited according to the length of the railway section being examined. For switch heaters, the drone technology could be used when its function is to be checked. For overhead contact lines, the applicability is not as clear, as it depends on the drone's flight speed, requirements of detailed images, and the drone's camera equipment. For inspection of railway tracks, the applicability depends mainly on the AI program being used to analyze the images taken by the drone. An AI program that can quickly and easily detect errors would implicitly increase the drone's applicability.

Limitations in implementing drone technology for railway maintenance in Sweden seem to depend on the factors; type of contract between the railway actors, regulations, and the Swedish Transport Administration (Trafikverket) as an organization and its ability to implement new technology. As the technology has not yet been fully tested in Sweden, the consequences of the technology have been difficult to analyze. However, the results shows that the technology can lead to time and cost savings. In addition, it is also assumed to provide a safer and more comfortable working environment.

Keywords: Drone technology, railway, maintenance, Trafikverket

Sammanfattning

Syftet med detta examensarbete har varit att analysera potentialen och konsekvenserna av att använda drönarteknik för järnvägsunderhåll i Sverige. Arbetet har genomförts i samarbete med företaget Nordic Infracenter, som ett underprojekt till projektet *Framtidens Järnväg*. Metoden för arbetet har baserats på olika litteraturstudier och intervjuer med experter inom drönar- och järnvägsbranschen. Arbetet har begränsat sig till att främst analysera implementationen av drönarteknik för växelvärmare, kontaktledning och järnvägsbana.

Resultatet visar på att drönartekniken lämpar sig väl för vissa delar av järnvägens besiktningens verksamhet. Generellt lämpar sig tekniken bäst när besiktningar eller överskådningar ska göras inom svårtillgängliga platser. Den kan dock vara begränsad efter hur lång järnvägssträcka som ska undersökas. För växelvärmare lämpar sig drönartekniken bra när dess funktion ska kontrolleras. För kontaktledning är tillämpbarheten inte lika tydlig, då den beror på drönarens flyghastighet, krav på detaljbilder på komponenter, samt drönarens kamerautrustning. För besiktning av bana beror tillämpbarheten främst på vilka typer av AI-program som används för att analysera bilderna tagna av drönaren. Ett AI-program som snabbt och lätt kan upptäcka fel skulle implicit höja drönarens tillämpbarhet.

Begränsningar i att implementera drönarteknik för järnvägsunderhåll i Sverige tycks bero på faktorerna; kontraktsutformning mellan järnvägsaktörer, regelverk samt Trafikverket som organisation och deras förmåga att implementera ny teknik. Då tekniken ännu inte prövats skarpt i Sverige, har teknikens konsekvenser varit svåranalyserade. Resultatet visar dock på att tekniken kan medföra tids- och kostnadsbesparingar. Dessutom tros den även kunna medföra till en säkrare och mer bekväm arbetsmiljö.

Nyckelord: Drönarteknik, järnväg, underhåll, Trafikverket

Förord

Detta examensarbete är det sista momentet för Philip Beermann och Lukas Nilsson till en examen inom Industriell ekonomi från Lunds tekniska högskola. Examensarbetet har varit ett underprojekt till projektet *Framtidens Järnväg*, som drivs av Nordic Infracenter. Här vill vi rikta ett stort tack till våra handledare på Nordic Infracenter, Hans-Inge Almgren och Tony Cimen.

Vi vill även tacka Per Kristav som varit vår handledare på LTH, för respons och åsikter kring vårt arbete. Dessutom vill vi tacka övrig personal på institutionen för designvetenskaper som på något sätt hjälpt till och varit delaktiga i arbetet.

Slutligen vill vi rikta ett stort tack till alla de experter som ställt upp på intervjuer och besvarat våra frågor.

Lund, maj 2021

Philip Beermann & Lukas Nilsson

Innehållsförteckning

1 Inledning.....	10
1.1 Bakgrund.....	10
1.2 Syfte och frågeställningar.....	12
1.3 Avgränsningar.....	12
1.4 Rapportens disposition.....	13
2 Metod.....	14
2.1 Litteraturstudie.....	14
2.2 Intervjuer.....	15
2.2.1 Beskrivning av intervjuer och intervjupersoner.....	16
2.3 Teori.....	17
3 Grundläggande kunskaper inom järnvägsunderhåll.....	19
3.1 Underhåll.....	19
3.2 Beskrivning av järnvägsbana, växelvärmare och kontaktledning.....	20
3.3 Aktörer.....	24
3.4 Kontrakt och upphandling.....	25
4 Resultat.....	27
4.1 Implementation av drönarteknik inom järnvägsunderhåll.....	27
4.1.1 Drönarteknik inom järnvägsunderhåll idag.....	27
4.1.2 Regler vid implementation.....	29
4.1.3 Drönarteknik för inspektion av växelvärmare.....	32
4.1.4 Drönarteknik för inspektion av kontaktledning.....	34
4.1.5 Drönarteknik för inspektion av bana.....	36
4.2 Faktorer som kan påverka en implementering av drönarteknik.....	39
4.2.1 Kontrakt och upphandling.....	40
4.2.2 Regelverk.....	44
4.2.3 Trafikverkets förmåga att implementera ny teknik.....	46
4.2.4 Trafikverkets organisation.....	48
4.3 Konsekvenser av att implementera drönarteknik.....	50
4.3.1 Förändrade behov av resurser.....	51
4.3.2 Ekonomiska konsekvenser.....	52
4.3.3 Säkerhet och risker.....	54
4.3.4 Övriga konsekvenser.....	56
5 Diskussion.....	57
5.1 Hur kan drönarteknik implementeras inom järnvägsunderhåll?.....	57
5.2 Faktorer som kan påverka en implementering av drönarteknik.....	60
5.2.1 Diffusion of innovations.....	63
5.3 Konsekvenser av att implementera drönarteknik.....	64
6 Slutsats.....	67
7 Examensarbetets relevans.....	70

8 Fortsatt arbete	72
9 Referenser	73
Bilaga A	77
A.1 Arbetsfördelning	77
A.2 Tidplan	77
A.3 Beslutsprocess	78
Bilaga B Intervjupersoner och intervjufrågor	79

1 Inledning

Under detta avsnitt beskrivs bakgrunden till detta projekt. Därefter tas syftet och frågeställningar som projektet analyserat upp. Detta följs utav avgränsningar samt metoden som använts under arbetets gång.

1.1 Bakgrund

Järnvägstrafiken har under de senaste decennierna ökat (Utredningen om Framtidens järnvägsunderhåll, 2020). Sedan 1990-talet har persontrafiken med tåg dubblerats, medan ökningen av godstrafik under samma period ökat med 10–15%. Bedömningen i nuläget är att behovet av järnvägstransporter kommer bli fortsatt stor i framtiden. En ökad efterfrågan och nyttjande av järnvägstrafik med tyngre, snabbare och fler tåg skapar större och mer frekventa slitage, vilket skapar ett större behov av järnvägsunderhåll. Historiskt har även resurser för att möta en ökad förslitning varit mindre än behovet, vilket lett till att järnvägsunderhåll i många lägen blivit eftersatt. För att bemöta det ökande behovet av järnvägstransporter och kompensera för det eftersatta underhållet har regeringen valt att avsätta ytterligare resurser. Som ett exempel ökade investeringsbeloppen från ca 5 till 8 miljarder kronor mellan 2011 och 2018. Till år 2029 planeras beloppen öka till 14 miljarder kronor. Enligt Utredningen om Framtidens järnvägsunderhåll (2020) framgår att dessa ökningarna inte är tillräckliga för att nå behovet av förebyggande åtgärder.

En teknik som bedöms kunna användas inom järnvägsunderhåll är drönarteknik. Drönare definieras ofta som obemannade farkoster eller *unmanned aerial vehicles* (UAV) (Insider Intelligence, 2021). Tekniken har under de senaste åren fått nya användningsområden som till exempel för snabba leveranser och militärövervakning. Några av anledningarna till att drönarteknik blir allt vanligare är dess många fördelar. Tekniken har kunnat erbjuda effektivare produktivitet, förbättrad noggrannhet och mindre

arbetsbelastning. Den skapar även möjligheten att nå avlägsna platser lättare med mindre personalresurser, vilket kan reducera både tid och kostnader (Insider Intelligence, 2021). Dessa och andra möjligheter är bidragande orsaker varför företag överväger att implementera drönarteknik även inom järnvägsunderhåll. I teorin skulle drönartekniken kunna minska de aktiviteter där personal måste befinna sig fysiskt på plats. På så sätt bör man kunna öka produktiviteten för underhåll och då minska behovet av ytterligare resurser. *Figur 1* visar användandet av en drönare i järnvägsmiljö.



Figur 1 Visar en drönare i järnvägsmiljö (Bankert, 2020)

Företaget Nordic Infracenter som jobbar med utveckling av järnvägsbranschen genomför ett projekt kallat *Framtidens Järnväg*. Företagets mål är att stärka samarbetet mellan akademi och näringsliv genom teknisk utveckling, innovation och tillämpad forskning. Ett av momenten i projektet *Framtidens Järnväg* är att undersöka möjligheterna och effekterna av att använda drönarteknik som hjälpmedel inom järnvägsbranschen. Nordic Infracenter har tidigare genomfört egna undersökningar för att pröva tekniken i praktiken, bland annat genomförde de en studie på en 750 meter lång järnvägssträcka mellan Grimstorp och Nässjö. Där prövade de drönartekniken i tre olika moment; besiktning av växelvärmare, besiktning av kontaktledning och besiktning av järnvägsbana.

1.2 Syfte och frågeställningar

Detta examensarbete är ett underprojekt till *Framtidens Järnväg* som drivs av Nordic Infracenter. *Syftet med examensarbetet är att analysera hur drönarteknik kan implementeras vid järnvägsunderhåll i Sverige, begränsningar för en kommande implementering, och vad konsekvenserna av en sådan implementering skulle kunna bli.* Målet är att analysera om drönarteknik kan leda till effektivare järnvägsunderhållning. Examensarbetets syfte undersöks genom tre frågeställningar:

- Hur kan drönarteknik implementeras inom järnvägsunderhåll?
- Vilka faktorer kan påverka en implementering av drönarteknik vid järnvägsunderhåll?
- Vad kan konsekvenserna bli av att implementera drönarteknik vid järnvägsunderhåll

1.3 Avgränsningar

Examensarbetet har avgränsat sig till att främst analysera implementeringen av drönarteknik vid järnvägsunderhållning inom Sverige. Detta har dock inte förhindrat arbetet från att göra en nulägesanalys och jämförelse av implementeringen i andra länder. De aktörer som analyserats har begränsats till infrastrukturförvaltare, och entreprenörer som ansvarar för underhåll av

olika järnvägssträckor. Därmed fokuserar arbetet inte på exempelvis aktörer som tillhandahåller gods- eller persontrafik.

Då definitionen av järnvägsunderhåll kan vara mångtydigt har examensarbetet även avgränsat till att endast analysera ett fåtal relevanta implementeringsområden för drönarteknik. Dessa har tagits fram efter samtal med handledare på Nordic Infracenter till att vara besiktningar och inspektion av växelvärmare, kontaktledning, samt av bana. I den sistnämnda, besiktning av bana, så har analysen koncentrerats till slipers och befästningar. Valda implementeringsområden för examensarbetet är samma områden som Nordic Infracenter undersökte vid studien i Grimstorp.

En annan avgränsning i arbetet har främst varit att analysera drönarteknikens potential, genom att främst studera användningsområden, konsekvenser och ekonomiska aspekter. Därmed har arbetet avgränsat sig från att ta upp och diskutera olika tekniska detaljer. Detta har resulterat i att analyser och beskrivningar av olika typer av drönare och dess tekniska funktioner många gånger utesluts.

1.4 Rapportens disposition

Rapportens är disponerad efter åtta huvudkapitel; *Inledning*, *Metod*, *Grundläggande kunskaper inom järnvägsunderhåll*, *Resultat*, *Diskussion*, *Slutsats*, *Examensarbetets relevans* och *Fortsatt arbete*. De två första kapitlen, *Inledning* och *Metod*, ger en bakgrund kring drönarteknik inom järnvägsunderhåll och hur examensarbetet har gått tillväga. Därefter förklaras i kapitlet *Grundläggande kunskaper inom järnvägsunderhåll* olika termer och systemstrukturer kopplade till ämnet, till exempel anges definitionen av underhåll. I *Resultat* presenteras de svar som kommer från intervjuer och litteraturstudier. Detta kapitel är främst uppdelat efter examensarbetets tre frågeställningar. Under *Diskussion* diskuteras vad resultaten visar och ett resonemang förs kring varför resultatet ser ut som det gör. I *Slutsats* ges ett svar på examensarbetets frågeställningar, och drönarteknikens potential inom järnvägsunderhåll i Sverige bedöms. *Examensarbetets relevans* motiverar varför arbetet är viktigt och relevant. Slutligen förklarar kapitlet *Fortsatt arbete* vilka områden det kan behövas forskas mer inom, som detta arbete inte kunnat besvara.

2 Metod

I detta kapitel beskrivs tillvägagångssätten arbetet har använt sig utav för att ta fram information kring och analysera frågeställningarna. Först beskrivs hur litteratur har studerats. Efter det nämns hur intervjuerna genomförts. Slutligen ges information kring de teorier som ligger bakom delar av analysen i examensarbetet.

2.1 Litteraturstudie

Detta examensarbete har delvis baserats på vetenskapliga publikationer såsom rapporter, avhandlingar, böcker, samt källor från internethemsidor. Källorna har framförallt härstammat från tidigare forskning, samt departement, organisationer och företag inom branschen för järnväg alternativt drönare. Dessa källor har sedan granskats och av författarna valts ut till att vara av en tillräckligt god vetenskaplig grund för att användas.

Sökmotorer som har används inom detta arbete har framförallt varit; Google, Google Scholar och LUBsearch. Den förstnämnda, Google, nyttjades i synnerhet för att ta fram källor som branschens intressenter tagit fram. Exempel på dessa kan vara utredningar från regeringen och rapporter från Trafikverket. De två sistnämnda, Google Scholar och LUBsearch, användes istället framförallt för att finna akademiskt producerat material, såsom artiklar, tidskrifter, avhandlingar och böcker.

Vi valde att först använda svenska nyckelord under vår litteraturstudie. Dessa var: **Järnväg, underhåll, drönare, drönarteknik, växelvärmare, kontaktledning, bana, Trafikverket.**

På grund av begränsad forskning och därav begränsade resultat på våra sökningar, togs senare beslutet att även använda engelska nyckelord. De

nyckelord som användes vid dessa olika sökningar var: **Railway, maintenance, drone, drone technology, switch heaters, contact line, track.**

2.2 Intervjuer

För att komplettera den information som anskaffats från litteraturstudier genomfördes semistrukturerade intervjuer med personer inom branschen. Vissa personer har bland annat valts ut efter samtal med handledare på Nordic Infracenter. Andra personer som intervjuats har via tidigare intervjupersoner rekommenderats och sedan kontaktats. Det som stod i centrum vid valet av intervjupersoner var dels att de var kunniga och trovärdiga personer inom sitt område, och dels att intervjupersonerna tillsammans skulle kunna ge arbetet den information och helhetsbild som krävs för att besvara frågeställningen.

Semistrukturerade intervjuer innebär i praktiken att de frågor som ställs under intervjun bestämts innan, men att följdfrågor ofta ställs till kandidaten vid intervjuens genomförande (Adams, 2015). Detta möjliggör att intervjun kan anpassas efter svaren (Bryman, 2018). Enligt Adams (2015), är fördelarna med semistrukturerade intervjuer att man under intervjun kan upptäcka potentiell ny information som inte diskuterats före intervjun. Dessutom passar intervjuformen i situationer där intervjuerna genomförs med enskilda kandidater så som olika chefer, personal eller andra tjänstemän, där passande och relevanta frågor kan skilja sig åt. I vårt fall genomfördes intervjuer med personer från olika företag och med olika arbetsroller, vilket medförde att semistrukturerade intervjuer ansågs vara lämpligt.

Nackdelar med semistrukturerade intervjuer är att de ofta kan vara tidskonsumerande och arbetsintensiva (Adams, 2015). Många av intervjuerna inom detta examensarbete genomfördes via videosamtal eller telefon. I de flesta fall förbereddes både specifika frågor och eventuella följdfrågor före intervjun. Dessa frågor berörde olika ämnen vilket medförde att en viss efterforskning var nödvändig. Dock hade en god kunskap erhållits inom flera ämnen från bland annat litteraturstudierna.

Intervjuerna gick till så att respektive intervju spelades in, samtidigt som anteckningar togs. Dessa anteckningar kompletterades sedan genom att med hjälp av inspelningen mer noggrant notera vad som sagts, och även i vissa fall transkribera svar eller enskilda meningar om behovet ansågs finnas.

2.2.1 Beskrivning av intervjuer och intervjupersoner

Nedan presenteras samtliga intervjuer som genomförts under arbetets gång, samt vilken typ av befattning intervjupersonen har. Senare i rapporten, när bland annat resultatet presenteras, görs olika referenser till dessa intervjuer. Referaten görs antingen till intervjun eller till intervjupersonen. Intervjuperson 1 syftar därmed till personen som intervjuades under intervju 1.

Intervju 1: Projektledare inom utveckling på Trafikverket. Intervjun genomfördes via telefon 2021-02-04.

Intervju 2: Arbetschef på ett anläggningsföretag inom järnväg. Intervjun genomfördes via mejl 2021-02-08.

Intervju 3: Affärsutvecklare på ett bolag inom järnvägsunderhåll. Intervjun genomfördes via videosamtal 2021-02-12.

Intervju 4: Drönarpilot som sedan tidigare gjort flygningar inom järnväg. Intervjun genomfördes via videosamtal 2021-02-16.

Intervju 5: Projektledare inom underhåll på Trafikverket. Intervjun genomfördes via videosamtal 2021-02-19.

Intervju 6: Nationell besiktningssamordnare på Trafikverket. Intervjun genomfördes via videosamtal 2021-02-23.

Intervju 7: Säljchef på ett dataföretag med produkter inom underhåll på infrastruktur. Intervjun genomfördes via videosamtal 2021-02-24.

Intervju 8: Specialist inom elkraft på Trafikverket och beställare av besiktningssflygningar. Intervjun genomfördes via videosamtal 2021-03-15.

Intervju 9: Projektledare som arbetar på ett företag inom inspektioner av kraftledning med hjälp av olika flygtjänster. Intervjun genomfördes via videosamtal 2021-03-15.

Intervju 10: Expert inom underhåll och arbetar för den nederländska förvaltaren av järnväg. Intervjun genomfördes via videosamtal 2021-03-25.

2.3 Teori

För att bedöma drönarteknikens potential inom järnväg, så behövs dess fördelar gentemot existerande lösningar jämföras. Utöver detta, kan även svårighetsgraden i en implementation av tekniken analyseras för att bedöma dess framtida potential. Om det visar sig att drönartekniken har stora fördelar och är lätt att implementera, kan bedömningen vara att tekniken i teorin har en stor potential. En teori att använda som tar upp dessa aspekter är *Diffusion of innovation theory* (Rogers, 2003). Denna teori analyserar hur snabbt ny teknik eller innovationer adopteras. Snabbheten beror enligt teorin på främst fem egenskaper; *Relativ fördel*, *Kompatibilitet*, *Komplexitet*, *Möjlighet att testa* och *Observerbarhet*. Här anser författarna att de två förstnämnda egenskaperna har störst inverkan.

Det första begreppet som Rogers (2003) tar upp, *relativ fördel*, handlar om till vilken grad den nya innovationen uppfattas som bättre än den teknik som den ska ersättas. Denna grad kan därmed mätas i flera olika faktorer, beroende på vad som anses vara viktigt. Det centrala inom detta begrepp är inte om den nya innovationen är bättre, utan istället hur personer uppfattar den till att vara. Desto större den upplevda relativa fördelen är, desto snabbare kommer innovationen adopteras och därmed ha en större potential.

Kompatibilitet innebär om en ny teknik eller innovation är konsistent med nuvarande värderingar, tidigare erfarenheter och behovet av de som kommer använda tekniken (Rogers, 2003). Om en teknik till exempel inte visar sig överensstämma med befintliga normer eller behov är det en indikation på att tekniken inte är kompatibel.

Komplexitet handlar som namnet antyder hur lätt eller svår en innovation är att förstå sig på (Rogers, 2003). En ny teknik som är lätt att förstå och som

inte kräver nya förmågor har generellt en bättre förmåga att adopteras snabbare.

Möjlighet att testa handlar om till vilken grad den nya innovationen kan prövas inom en begränsad basis (Rogers, 2003). Här menar Rogers (2003) att de tekniker som kan prövas utav användaren har en betydligt bättre potential till en snabb adoption. Anledningen till detta är bland annat att de antagande man gjort, exempelvis att den nya tekniken är mer effektiv, kan testas och bevisas innan köp. Därmed råder mindre osäkerheter.

Observerbarhet handlar om hur lätt det är för omgivningen att se resultatet av och beskåda den nya tekniken (Rogers, 2003). En hög grad av observerbarhet indikerar på en högre sannolikhet att individer adopterar tekniken. Ett exempel på en teknik med hög grad av observerbarhet som Rogers (2003) tar upp är solfångare. Författaren nämner att solfångare bland annat är lätta att observera visuellt och då diskutera med grannar om.

3 Grundläggande kunskaper inom järnvägsunderhåll

Detta avsnitt redovisar grundläggande kunskaper inom järnvägsunderhåll. Detta görs genom att förklara olika begrepp, för att sedan beskriva aktörer på marknaden samt hur kontrakt och upphandling fungerar.

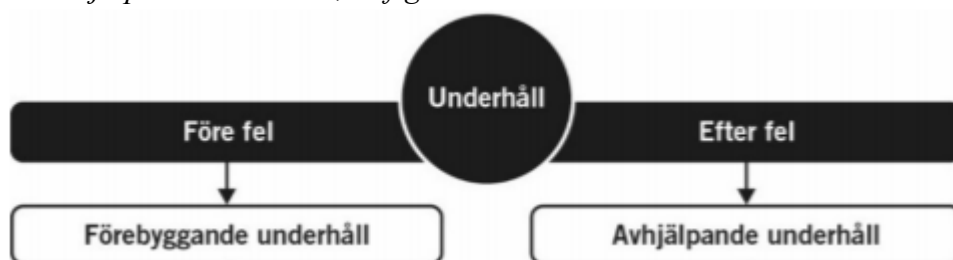
3.1 Underhåll

Begreppet *underhåll* definieras enligt den svenska standarden SS-EN 13306:2017 som:

Kombination av samtliga tekniska, administrativa och ledningens åtgärder under en enhets livscykel som är avsedda att bibehålla den i, eller återställa den till, ett sådant tillstånd där krävd funktion kan utföras. (Svenska institutet för standarder (SIS), 2017)

Inom järnvägsområdet delas samtidigt de åtgärder som uträttas inom begreppet underhåll upp i två kategorier; basunderhåll och reinvesteringar (Utredningen om Framtidens järnvägsunderhåll, 2020).

Basunderhåll baseras främst på två olika aktiviteter; *förebyggande underhåll* och *avhjälpande underhåll*, se figur 2.



Figur 2 Beskriver definitionen av underhåll (Förenkling av bild, Utredningen om Framtidens järnvägsunderhåll, 2020)

Förebyggande underhåll genomförs för att förlänga livslängden av anläggningen och för att minska risken för fel. Detta förebyggande underhåll kan då utföras genom att antingen utgå från ett förutbestämt intervall såsom tid eller en viss mängd användning. Det kan också utföras efter tillståndet på anläggningen, det vill säga genom att manuellt kontrollera och utföra besiktningar. Dessa kontroller kan även då inräknas inom aktiviteten förebyggande underhåll.

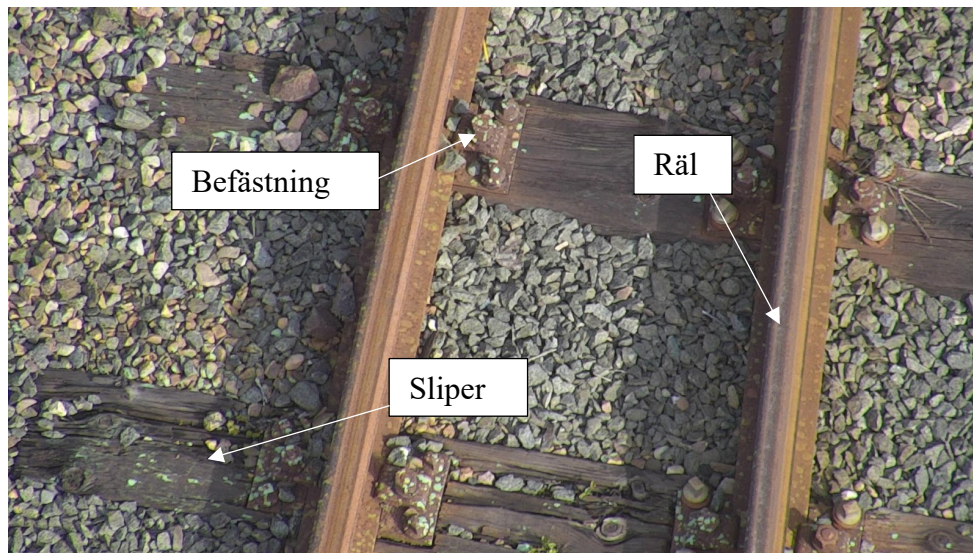
Avhjälpan underhåll framkommer istället när ett funktionsfel har upptäckts, och man då åtgärder felet i fråga för att kunna upprätthålla att anläggningen fungerar korrekt (Utredningen om Framtidens järnvägsunderhåll, 2020). Dessa fel kan antingen vara akuta, där man då omedelbart måste avbryta trafiken, eller ej akuta där man istället väljer att skjuta upp underhållet och vidta åtgärd vid ett senare tillfälle. Felen kan antingen upptäckas tack vara besiktningar av anläggningen, alternativt genom att felet upptäcks på annat sätt till exempel genom att det påverkar tågtrafiken.

Reinvesteringar handlar istället om utbyten, det vill säga att man som en förebyggande åtgärd byter ut anläggningsdelar innan fel uppstår (Utredningen om Framtidens järnvägsunderhåll, 2020). Reinvesteringar görs i de fall när ett fortsatt underhåll av en komponent ej är ekonomiskt hållbar. Exempelvis kan det handla om att det under en viss tidsperiod hade varit dyrare att underhålla en gammal del för att återställa och bibehålla anläggningens funktion, jämfört med att byta ut den mot en ny.

3.2 Beskrivning av järnvägsbana, växelvärmare och kontaktledning

En järnvägsbana eller ett järnvägsspår består av flera olika komponenter såsom bland annat slipers, befästningar och räil, *se figur 3*. Slipers är tvärgående balkar på vilka räilerna, som är den skena tågets hjul löper på, fästs (Trafikverket, 2021a). Dessa slipers kan antingen bestå av trä eller betong. Befästningar är den komponent som befäster räilen på slipern (Nordic Infracenter, 2020). Slipers stabiliseras i sin tur av ballast, vilket är makadam eller grus som ligger runt och under järnvägsbanan (Trafikverket, 2021a).

Konkret kan järnvägsspår definieras som två räler vilka sitter på ballast och slipers.



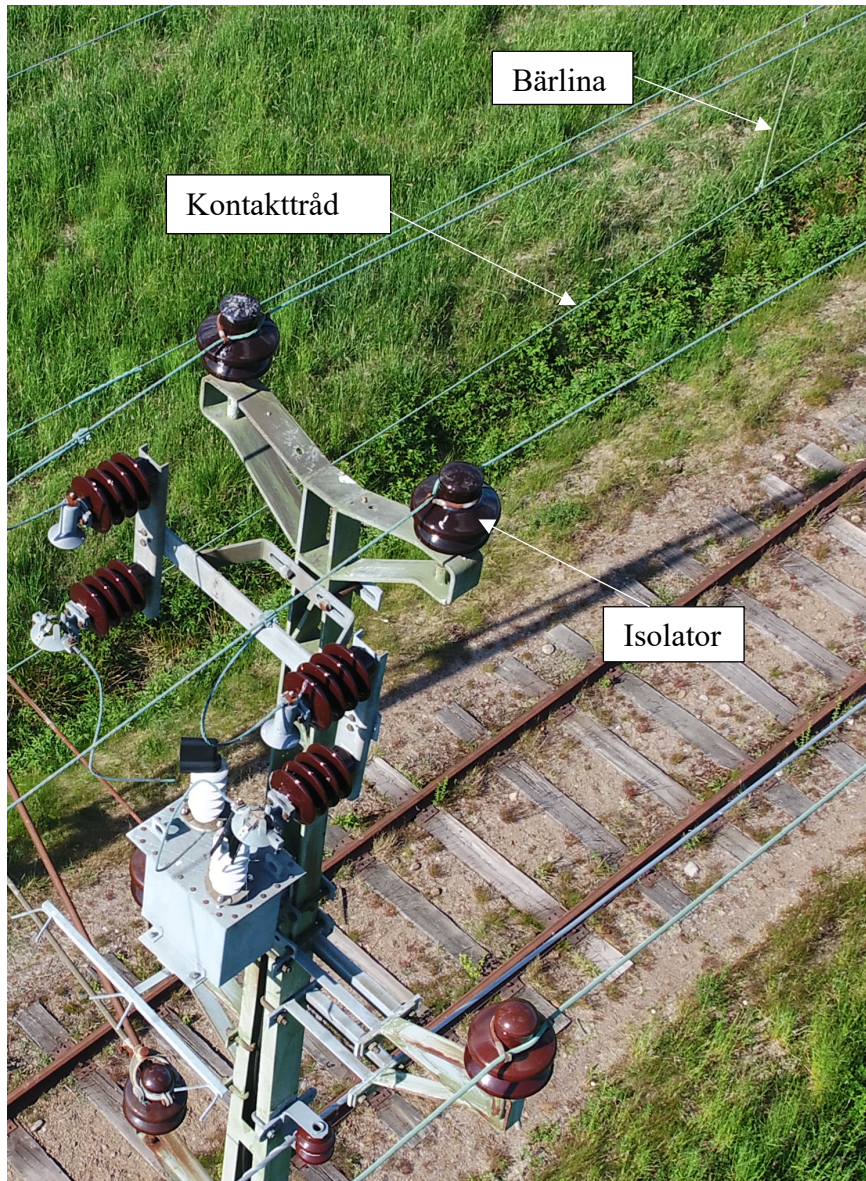
Figur 3 Visar en närbild över en äldre järnvägsbana med några av dess ingående komponenter (Nordic Infracenter, 2020)

Växelvärmare är som namnet antyder en anordning som smälter bort is och snö på järnvägsväxlar under vintern (Trafikverket, 2021a). En bild på växelvärmare är synlig i *figur 4*. Trafikverket (2021a) uppger att järnvägsväxlar är en spårteknisk anordning som gör att spår kan förgrena sig. Vanligtvis är växlar tvåspåriga, men det förekommer även trespåriga växlar samt dubbla korsningsväxlar. Karlsson (2015) berättar att ifall is fastnar på växelns rörliga delar kan det hindra växeln från att sluta tätt till rälen. Om så är fallet kan inte växeln låsas, vilket gör att den inte signalerar till kör. En fryst växel gör enligt Arup (2019) att tåg inte använda spåren vilket ökar sannolikheten för försenade tåg. Vidare skriver Arup (2019) att manuella kontroller av växlar ofta är arbetsintensiva och farliga för anställda, vilket undviks när drönare används.



Figur 4 Visar hur en växelvärmare håller växeln fri från snö och is (Nibe Element Railway Solutions, 2021)

Kontaktledning är den anläggning bredvid järnvägsspåren som via ledningar förser tågen med el (Trafikverket, 2021a). Kontaktledning består av flera komponenter, från kontaktråd till isolatorer, *se figur 5*. I Sverige är järnvägarna elektrifierade med 15 000 Volt, även om det kan varieras i spänning (Karlsson, 2015). Denna ström kommer från det allmänna elnätet, men måste först i omformarstationer omvandlas till rätt spänning.



Figur 5 Visar en kontaktledning med några av dess ingående komponenter (Bankert, 2020)

3.3 Aktörer

De aktörer inom järnväg som främst är kopplade till underhållsfrågor är järnvägsentreprenörer och järnvägsförvaltare. Järnvägsförvaltare ansvarar generellt för en långsiktig planering av järnvägstrafiken och bidrar till att driva en utveckling av sektorn (SWEDTRAIN, 2021). Järnvägsentreprenörerna ansvarar och utför underhåll inom järnvägsinfrastrukturen, ofta på uppdrag av förvaltarna.

Förordningen med instruktion för Trafikverket (SFS 2010:185), pekar ut Trafikverket som infrastrukturförvaltare för Sveriges järnväg. I denna förordning kan man läsa att Trafikverkets uppgift är att ansvara för den långsiktiga infrastrukturplaneringen. I detta ingår järnvägstrafik och järnväg, där Trafikverket ska skapa de rätta förutsättningarna för att Sveriges järnväg ska vara samhällsekonomiskt effektivt, internationellt konkurrenskraftigt, samt ett långsiktigt hållbart transportsystem. Enligt förordningen ska Trafikverket vara infrastrukturförvaltare för de järnvägsnät som tillhör staten, om inte annat beslutats. I praktiken innebär det att Trafikverket i dagens läge ansvarar för och förvaltar över cirka 14 200 km trafikerade järnvägsspår, 3 900 järnvägsbroar och 17 800 spårväxlar där 7 200 av dessa är uppvärmda (Trafikverket, 2020a).

Då Trafikverket är infrastrukturförvaltare för järnväg, så måste de utföra denna förvaltning enligt järnvägslagen (SFS 2004:519). Enligt denna lag är en infrastrukturförvaltare någon som förvaltar järnvägsinfrastruktur och som driver anläggningar tillhörande infrastrukturen. Vidare beskriver lagen att infrastruktur definieras som:

- spår-, signal- och säkerhetsanläggningar avsedda för järnvägstrafik
- trafikledningsanläggningar
- anordningar för elförsörjning av trafiken
- övriga fasta anordningar som behövs för anläggningarnas bestånd, drift eller brukande.

För att möjliggöra för denna förvaltning och långsiktiga planering av infrastruktur, så använder sig Trafikverket av järnvägsentreprenörer. Exempel på svenska järnvägsentreprenörer är Infranord AB, Strukton Rail AB och NRC Group Sverige AB. Det är järnvägsförordningen (SFS 2004:526) som säger att det är möjligt att lägga ut delar av sin uppgift som

infrastrukturförvaltare till entreprenörer. I denna lag står det även hur förvaltaren ska gå tillväga. Här nämner lagen bland annat att i de fall uppgifter läggs ut på entreprenad, så får det inte påverka det ansvar Trafikverket har som förvaltare.

3.4 Kontrakt och upphandling

Enligt Utredningen om Framtidens järnvägsunderhåll (2020) är basunderhåll en typ av kontrakt som Trafikverket lägger ut till entreprenad. I Sverige, är järnvägsnätet uppdelat i 34 olika kontraktsområden, och därmed finns det 34 olika basunderhållskontrakt. Utredningen om Framtidens järnvägsunderhåll (2020) skriver vidare att kontraktstiden för samtliga sådana kontrakt är 5 år, med en option på 2 års förlängning. Då områdena skiljer sig åt efter geografisk storlek, järnvägsanläggningars storlek, samt trafikering, så skiljer sig även kontraktsvärdena sig åt. Dessa kan i dagslägen variera från cirka 50 miljoner kronor till cirka 180 miljoner kronor årligen. Den totala kostnaden för samtliga 34 basunderhållskontrakt var år 2019 på 3 527 miljoner kronor.

Upphandlingar för basunderhållet inom det svenska järnvägsnätet behandlas enligt regler inom lagen om offentlig upphandling (Aldenlöv, et al., 2020). Detta betyder att avtal och upphandlingar mellan järnvägsentreprenörer och järnvägsförvaltare går under dessa principer. Aldenlöv et al. (2020) beskriver att entreprenörer lägger anbud på de förfrågningsunderlag som beställaren, eller i detta fall förvaltaren, tagit fram. I de flesta situationer är det sedan den entreprenör med lägst anbud som vinner upphandlingen.

Vanligt förekommande konfliktpunkter som uppstår mellan kontraktspartners handlar om kostnader och betalningar, vilket gör att ersättningsform ofta har en betydande roll (Borg & Lind, 2016). Val av ersättningsform är även synonym med riskfördelning, något som kan ligga till grund för konflikter. Två vanliga ersättningsformer vid kontraktsskrivning är fast eller rörligt pris. Ett rörligt pris medför att förvaltaren tar all risk, medan ett fast pris medför att entreprenören tar all risk. Borg & Lind (2016) säger vidare att en entreprenör som tar den största risken kommer fokusera på att uppnå en bonus, vilket till exempel kan vara för snabbare genomförande av projektet. Ifall det är förvaltaren som tar den

största risken, så menar författarna istället att den kommer vara ovillig att ändra befintliga arbetssätt.

4 Resultat

Här beskrivs resultatet av examensarbetet, disponerat efter de tre nämnda frågeställningarna.

4.1 Implementation av drönarteknik inom järnvägsunderhåll

Drönarteknik används redan inom järnvägsunderhåll ur ett globalt perspektiv. Vanliga användningsområden är här inspektioner eller inventering genom fotograferings- eller filmanalys (Gompel, 2019; Network Rail, 2021). Dessa behöver nödvändigtvis inte endast beröra järnvägen specifikt, utan kan också inkludera inspektion av omkringliggande vegetation eller byggnadsverk. Dessutom finns flera publicerade forskningsprojekt om hur drönarteknik kan tillämpas inom järnvägsunderhåll. Ett exempel är hur drönarteknik kan användas för att mäta spårvidden av rälsen (Singh, et al., 2017).

4.1.1 Drönarteknik inom järnvägsunderhåll idag

Forskning visar på att målet med att använda drönarteknik inom järnväg ofta är att förhindra olika typer av hot genom undersökningar, såsom att besiktiga eller övervaka järnvägsinfrastruktur (Flammini, et al., 2016). I praktiken kan detta innebära olika användningsområden, dock nämner Flammini, et al. (2016) sex områden där drönartekniken lämpar sig bra, vilka är:

1. Strukturell felövervakning, speciellt för kritisk infrastruktur som broar och tunnlar.
2. Säkerhetsmässig övervakning av omkringliggande miljö, det vill säga upptäckt av bränder, explosioner, jordbävningar eller jordskred.
3. Fysisk övervakning där stölder, intrång eller skadegörelse upptäcks.

4. Säkerhetsmässig övervakning av infrastruktur vilket kan innebära att tidigt upptäcka fel eller brister på järnvägen.
5. Situations- och krishantering, det vill säga övervakning av olyckor eller koordinering av akutuppersonal.
6. Forensiska undersökningar, det vill säga undersökning av vad som orsakar olyckor.

Flammini et al. (2016) nämner flera egenskaper varför drönarteknik är passande för övervakning av järnväg. Den främsta egenskapen är drönarens förmåga att ta fram detaljerade bilder av större infrastrukturobjekt, med relativt få insatser. Dessutom är drönaren som enhet väldigt flexibel, vilket bidrar till att driften inte blir lika omfattande. Drönare kräver heller inte någon uppkopplad kraftkälla då de kan lagra energi genom inbyggda batteri, påbyggda solceller eller trådlös transmission med andra drönare. Flammini et al (2016) påpekar att detta gör det lättare att arbeta på platser där det är brist på kraftkällor, vilket oftast är fallet utmed järnvägar. Kostnaderna för underhåll av instrument sägs också vara låga för tekniken.

I världen har flera länder börjat applicera drönartekniken för inspektion och underhållning av järnvägsinfrastruktur (Lesiak, 2020). Detta har bland annat resulterat i att marknaden för drönarteknik ökat exponentiellt under det senaste decenniet, och under år 2019 nådde den globala drönarmarknaden för järnvägsappliceringar fyra miljarder USD. I Europa används drönartekniken på flera ställen, bland annat nämner Lesiak (2020) länderna Frankrike, Tyskland och Nederländerna. I Frankrike har drönarteknik använts för inspektion, övervakning och underhåll av järnväg sedan 2013. Franska myndigheter har dessutom skapat ett företag vars mål är att förse anpassade drönarlösningar med fokus på sensorer och design. I Tyskland används drönare för att handleda och planera konstruktioner kring järnvägar, och kontrollera omkringliggande träd. Tyska myndigheter innehar bland annat 12 olika drönare med olika vikt, flygtider och andra operationella egenskaper för olika ändamål.

I Nederländerna utrustas drönare med infraröda sensorer för att inspektera olika typer av värmesystem (Lesiak, 2020). Dessutom används de till att kontrollera korrosion och underhållsbedömningar för stålkonstruktioner. Intervjuperson 10 säger att i Nederländerna tillåter det befintliga regelverket järnvägsentreprenörer att fritt använda drönarteknik om de vill. Dock måste de själva bedöma ifall det är lämpligt och lönsamt att använda tekniken eller ej. Det är entreprenörerna som är ansvariga att leverera en besiktning med

god kvalité, hur de sedan väljer att göra detta är upp till dem. Intervjuperson 10 berättar vidare att av vad man kunnat se, så har då de flesta järnvägsentreprenörer valt att använda drönarteknik. Entreprenörerna använder dock främst drönare vid inspektion av specifika delar av järnvägen, och inte vid inspektion av längre sträckor. När längre järnvägssträckor ska undersökas används oftast helikoptrar eller mätvagnar.

I Sverige har drönartekniken använts i viss mån. Exempelvis framkom under intervju 4 att vissa företag inom järnvägsunderhåll på eget initiativ använt tekniken för att dokumentera bangårdar och järnvägssträckor. Detta har gjorts genom att ta ett större antal bilder över området vilka kan användas vid underhållsplanering. Då bilderna är så pass detaljerade kan man se var vissa infrastrukturobjekt befinner sig. Från intervju 4 framkom det dessutom att drönartekniken används vid vegetationsröjning för att analysera den omkringliggande miljön. Från intervju 3 nämns dock samtidigt att drönarteknik ännu inte används skarpt vid besiktningar i Sverige, utan är fortfarande mer i en testningsfas.

4.1.2 Regler vid implementation

För att kunna implementera drönarteknik vid järnvägsunderhåll i Sverige finns olika regelverk som man måste förhålla sig till. Bland annat finns regelverk avsedda för endast drönare, men även regel- och ramverk för hur underhåll av järnväg får genomföras. Dessa återges i 4.1.2.1 och 4.1.2.2.

4.1.2.1 Regelverk drönare

När en drönare ska användas så måste vissa lagar och regler följas. På Transportstyrelsen (2021) kan man läsa att det från och med den 1 januari 2021 gäller nya regler för drönare i Sverige. Först och främst måste den som flyger drönaren, även kallad fjärrpiloten, ha ett drönarkort. Detta drönarkort tas i dagens läge genom ett digitalt prov hos Transportstyrelsen. Ifall drönaren ska flygas utomhus måste det även finnas en operatör som ansvarar för flygningen och säkerställer att den sker säkert och med en fjärrpilot som är kompetent. Drönaroperatören måste registrera sig på Transportstyrelsen, och kan antingen vara en privatperson eller ett företag. Varje operatör kommer sedan ha ett unikt ID-nummer. Detta nummer måste sedan stå angivet på de drönare som operatören ansvarar över. Dessutom ska nya drönare även programmeras elektroniskt med ID-numret. På så sätt kommer

det vara möjligt att på distans avläsa vem operatören är. Utöver fjärrpiloten och operatören så råder det fler regler för att kunna få flyga en drönare i Sverige. Allmänt kan man sammanfatta dessa regler till att vara (Transportstyrelsen, 2021):

- Varje flygning av en drönare har en ansvarig operatör. Denna operatör ansvarar bland annat för att fjärrpiloten har de rätta kompetenserna och att flygningen utförs säkert.
- Den som flyger drönaren är en fjärrpilot. Fjärrpiloten måste då ha ett giltigt behörighetsbevis. Beroende på hur drönaren ska flygas och användas så finns det olika typer av kategorier, som då har sitt eget behörighetsbevis.
- Ifall drönaren väger över 25 kg, och ska flygas utom synhåll, på en höjd över 120 meter eller över människor så måste tillstånd på Transportstyrelsen först sökas.
- Inom vissa områden råder begränsningar för flygning av drönare. Dessa platser kan bland annat vara militära områden, fängelser, kärnkraftverk och naturområden. För att då kunna flyga över ett sådant område behövs oftast ett särskilt tillstånd och vissa villkor uppfyllas.
- Drönaren måste vara CE-märkt vilket styrs av direktiv från EU. CE-märkningen ska garantera att drönaren inte är giftig eller farlig samt har en viss produktsäkerhet
- Drönaren måste vara C-klassad, och klassen på drönaren måste anges. C-klassen är en certifiering som visar att drönaren uppfyller vissa tekniska krav. De kraven kan bland annat beskriva vikten, färdhastighet och den möjliga flyghöjden på drönaren.

Intervjuperson 4 förklarar också att en riskanalys oftast måste göras vid flygning med drönare. Transportstyrelsen (2020) skriver i sitt utbildningsmaterial för drönarpiloter att en riskanalys innebär att göra en överskådning ifall det finns master, människor eller träd i omgivningen. Piloten ska också kunna säkerställa säkerhetsavstånd till människor och bebyggelse enligt det rådande regelverket

4.1.2.2 Regelverk besiktning av järnväg

Trafikverket definierar olika riktlinjer, även kallat TDOK, som man måste förhålla sig till vid genomförande av till exempel besiktningar (Trafikverket, 2021b). Som ett exempel har Trafikverket (2021b) ett TDOK 2014:0240 med dokumenttitel *Säkerhetsbesiktning av fasta järnvägsanläggningar*, som syftar till att beskriva och sammanställa de krav Trafikverket har på besiktning av järnvägsanläggningar. Här står det angivet att målet med en säkerhetsbesiktning är att förhindra att säkerheten på järnvägsanläggningarna

försämrats. Detta görs genom att kontrollera anläggningarnas förmåga att utföra krävd funktion och analysera brister eller avvikelser. Genom att upptäcka fel i tid kan underhåll planeras och genomföras på ett kostnadseffektivt sätt.

För växelvärmare finns olika TDOK som beskriver hur man kan utföra en besiktning. Det tidigare nämnda TDOK 2014:0240 är dock det styrande dokumentet som sätter minimikraven för säkerhetsbesiktningar av fasta järnvägsanläggningar (Trafikverket, 2021b). I detta dokument står det bland annat att växelvärmarnas funktion måste kontrolleras både inför och under vintersäsong. Från intervju 3 framkommer att det vanligtvis görs en mer okulär besiktning inför vintern, där man mer ingående kontrollerar till exempel att kapslar, beröringsskydd, låsanordningar är intakta och att kabelskydd är intakt. Under vintern kontrolleras däremot vanligtvis endast växelvärmarnas funktion, vilket i praktiken innebär en lättare besiktning där man studerar ifall växelvärmaren värmer. Intervjuperson 3 nämner dock att beroende på underhållskontrakt som entreprenörerna har med Trafikverket, kan typ av besiktningar skilja sig åt i olika situationer. I vissa fall kan det exempelvis sättas krav på att både besiktningar inför och under vintern ska vara okulära för växelvärmare.

Kontaktledning beskrivs av TDOK 2014:0240 att utöver själva kontaktledningen, även innefatta förbiledning, 15 kV-matarledning, autotransformatorledning och återledning (Trafikverket, 2021b). Här kontrolleras att ledningen är acceptabel i förhållande till omgivningen. Det kan till exempel innebära att kontrollera att anläggningen har tillräckligt avstånd till byggnader, upplag och träd. Det kan även innebära att kontrollera om hängverk, utliggare och kablar är intakta.

Vid kontroll av bana finns riktlinjer enligt TDOK 2014:0240 för bland annat slipers och befästningar (Trafikverket, 2021b). För slipers måste följande kontrolleras; förekomst av sliperbrott, sliperarnas bärighet vilket kan vara genom att kontrollera sprickbildning, och att snedställda sliprar inte påverkar spårvidd. För befästning måste bland annat följande kontrolleras; förekomst av skrapmärken, antalet skadade klämfjädrar och skuldror under en viss sträcka och att det inte finns risk för spårviddsökning.

Innan en besiktning ska genomföras måste de anläggningar som anses vara svåra att besiktiga identifieras (Trafikverket, 2021b). Om inget annat anges

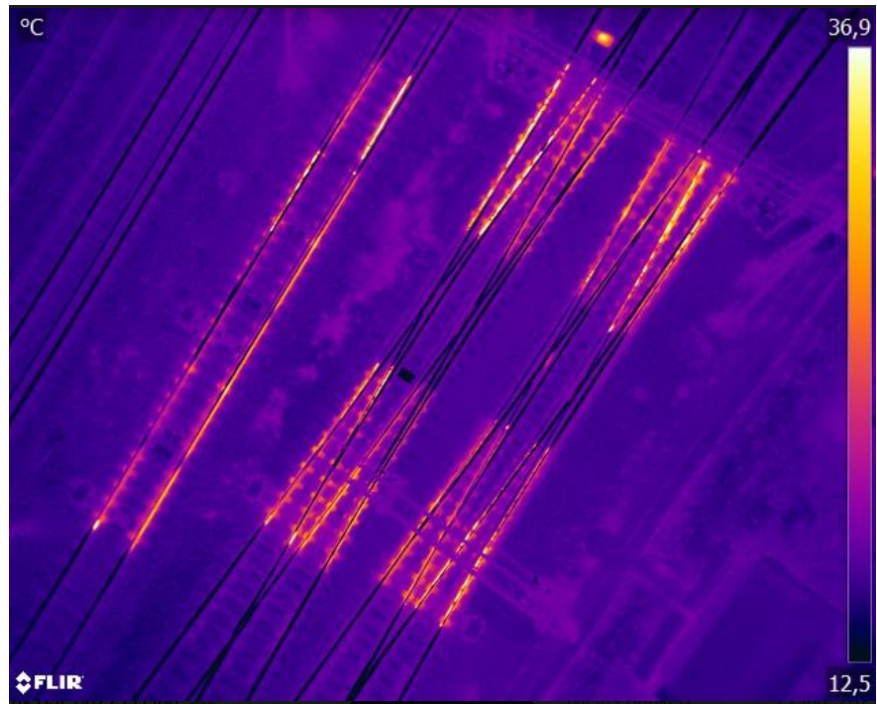
skall även besiktningen utföras okulärt eller genom mätning. Intervju 1 kompletterar detta, och säger att även om det i praktiken är tekniskt möjligt att flyga med drönare för att besiktiga järnväg är det ännu inte en godkänd besiktningsmetod. För att då få det till en godkänd besiktningsmetod menar intervjuperson 1, att först och främst måste regelverket ändras.

Sådana förändringar inom Trafikverkets regelverk har till en viss del börjat att ske. I nyare TDOK angående säkerhet kring spårområden, TDOK 2016:0289, har Trafikverket valt att specifikt nämna drönare (Trafikverket, 2020b). Här definierar Trafikverket drönare som ett lätt arbetsredskap och skriver att drönare som används 15 meter utanför spåren inte behöver skydds- och säkerhetsplanernas.

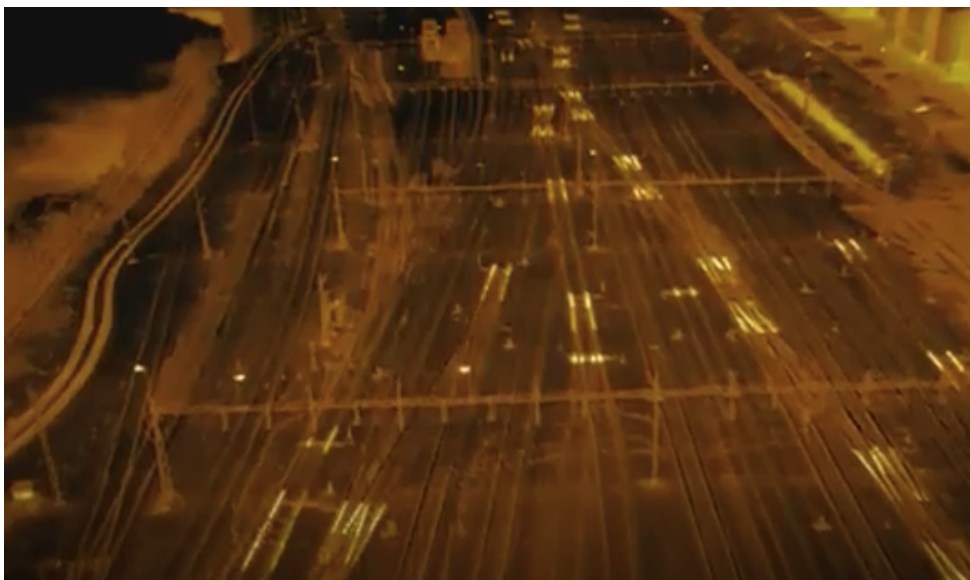
4.1.3 Drönarteknik för inspektion av växelvärmare

Ett område inom järnväg där drönarteknik kan implementeras är inspektion av växelvärmare. Idag görs inspektioner av växelvärmare till fots med avstängt spår (Nordic Infracenter, 2020). Vid inspektionen används en handhållen värmekamera där en växelvärmare i taget inspekteras. Eftersom det oftast är lättare att få tillgång till avstängt spår på natten, görs ofta inspektioner av växelvärmare nattetid, vanligtvis med två personer.

Vid inspektion med drönare kan en överflygning med värmekamera ske med endast en person (Nordic Infracenter, 2020). Samtliga växelvärmare inom ett visst område kan då kontrolleras, *se figur 6 och 7*. Nordic Infracenter (2020) nämner även att i deras studie krävdes ibland överflygningen från olika vinklar för att kunna se hela växelvärmaren beroende på vart den ligger. Inspektion med drönare kunde även genomföras på dagtid, utan avstängt spår. En faktor som blev tydlig för Nordic Infracenter (2020) var att resultatet av inspektionen kunde påverkas av utetemperaturen. Här fick omgivande spår och mark inte vara för varmt.



Figur 6 Visar en besiktning av växelvärmare med hjälp av drönare och värmekamera (Bankert, 2020)



Figur 7 Visar en besiktning av flera växelvärmare inom ett spårområde med hjälp av drönare och värmekamera (Bankert, 2020)

4.1.4 Drönarteknik för inspektion av kontaktledning

Besiktning av kontaktledning görs i dagens läge ofta manuellt. Om man tar järnvägssträckan vid Grimstorp som ett exempel så görs där besiktningar under natten (Nordic Infracenter, 2020). Vanligtvis används då en spårgående lifträlsbil bemannad med tre personer. Med fordonet kan personerna i fråga lyftas upp för att kontrollera statusen på samtliga ledningar och upphängningar, samt vid behov åtgärda eventuella skador. Samtidigt som detta sker kontrolleras även eventuella skador eller sprickor på isolatorer, *se figur 8*.



Figur 8 Visar en närbild på en isolator, taget ovanifrån med hjälp av en drönare (Bankert, 2020)

Intervjuperson 6 uppger liknande arbetsmoment vid generella besiktningar av kontaktledning. Vid dessa inspektioner byter man ofta samtidigt ut trasiga delar efter att de upptäcks. Intervjuperson 6 nämner att anledningen till det är att personal och utrustning vid besiktningen redan är på plats. Dessutom behöver man då ej ta upp mer tid i spår vid ett senare tillfälle för att uträtta reparationerna.

När Nordic Infracenter (2020) undersökte att med hjälp utav en drönare kontrollera kontaktledningen på en sträcka mellan Nässjö och Grimstorp uppstod svårigheter. I detta fall hade drönaren som användes svårt att sätta

fokus på tunna detaljer med en störande bakgrund. Detta ledde i sin tur till att det blev besvärligt att urskilja bärlinor och kontakttrådar. Emellertid var det lättare för drönaren att få fokus på större komponenter som isolatorer och tillhörande material, och en kontroll av dessa gick bra. Under testet kunde man även identifiera att drönare kan lämpa sig särskilt bra för inspektioner av ovansidan av isolatorer, lampor på hög höjd och allmänt under förhållanden där manuella besiktningar är svåra.

Intervjuperson 4 menar att när det kommer till potentialen att använda drönarteknik för inspektion av kontaktledning, så varierar den beroende på vad man vill undersöka. Ofta måste en avvägning göras mellan hur snabbt man vill göra en överflygning och hur detaljerad överflygningen ska vara. Om man vill ta detaljerade bilder kräver det ofta en närbild på objekten, *se figur 9*. Detta kan i sin tur göra det svårt att flyga med högre hastighet över längre kontaktledningssträckor. Därav kan potentialen att använda drönarteknik vid inspektion av kontaktledning skilja sig åt.



Figur 9 Visar ett foto på en trasig kontaktledning taget med hjälp av en drönare (Bankert, 2020)

Intervjuperson 9 förklarar dock att avvägningen mellan hur snabbt en överflygning kan göras och hur detaljerade bilder man vill framkalla, beror på vilken utrustning som används. Används avancerad utrustning så som kameror med bra fokus, kan en snabb men också detaljerad överflygning

göras. Begränsningen med drönare är snarare dess lyftkapacitet. Bättre utrustning väger ofta mer, vilket drönare inte alltid klarar av. Intervjuperson 8 förklarar detta vidare och säger bland annat att det är en av anledningarna varför helikoptrar ofta används vid besiktning av kraftledningar, istället för drönare. Helikoptrar har en väldigt god lyftförmåga och klarar därmed av att transportera väldigt tung utrustning. Detta har möjliggjort användningen av ca åtta olika kameror och även laserscannern vid en enda överflygning. Resultatet är att medelhastigheten för en överflygning med helikopter kan vara 50–60 km/h, och där ca fyra detaljerade bilder per sekund på en kraftledning kan framkallas. Intervju 8 och 9 betonar dock att detta råder för inspektioner av kraftledningar, och att det inte behöver helt överensstämma med besiktning av kontaktledning för järnväg.

I intervju 4 nämndes även att en värmekamera monterad på en drönare kan vara ett effektivt verktyg för att inspektera kontaktledning. En monterad värmekamera skulle registrera om detaljer är varma eller inte. Enligt intervjuperson 4 lämpar sig tekniken mycket bra till detta och man kan effektivt se ifall något är fel, då temperaturen inte är den önskade. Dock kan det vara svårare att med hjälp av en drönare se anledningen till felet.

4.1.5 Drönarteknik för inspektion av bana

Ett annat implementeringsområde för drönarteknik kan vara inspektion av järnvägsbanan, vilket kan innefatta inspektion av slipers eller befästningar. I dagsläget genomförs dessa typer av besiktningar på avstängda spår (Nordic Infracenter, 2020). I mån av tillgång till avstängda spår utförs dessa besiktningar på dagtid. Från intervju 6, framgick det att man i dagens läge går längs spåret för att utföra dessa inspektioner. Dessa inspektioner görs i stor utsträckning visuellt. Utöver detta görs oftast inga reparationer löpande på plats, utan planeras i efterhand. Nordic Infracenter (2020) säger att vid dagens inspektioner används vanligtvis en handdator för att mata in mätvärden och eventuella avvikelser in i Trafikverkets system. Besiktningar genomförs även med mätvagn där mätvärden och bilder läggs in i samma system.

Vid undersökningen i Grimstorp genomförde Nordic Infracenter (2020) fotografering och filmning på 20–30 meters höjd med en drönare. Då företaget ville inspektera delar av vegetationen flögs sträckan fyra gånger

med överlappningar i sidled. Inspektionen kunde genomföras utan avstängt spår med en person. Bilderna studerades både under och efter flygning, utan AI-program. Bedömningen från deras studie var att effektiviseringsgraden av att använda drönarteknik inte uppfylldes helt. En av motiveringarna bakom detta var att dagens manuella besiktningar har fördelen att avvikelser, fotografier och mätvärden kan matas in direkt via mätvagnen till Trafikverkets system. Fördelen med drönare är dock att det inte krävs avstängda spår. Dessutom ger drönaren förutsättningar att snabbt filma eller fotografera översiktsvyer för planering eller åtgärdsaktiviteter på en övergripande nivå, *se figur 10*.

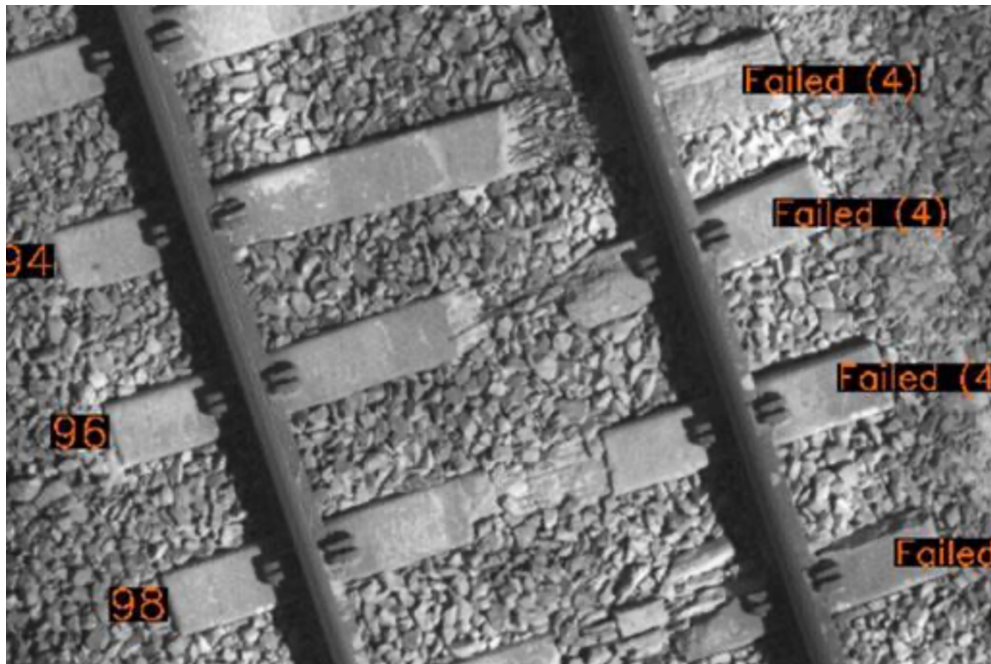


Figur 10 Visar en överblicksbild av en avställd bana, taget av en drönare (Bankert, 2020)

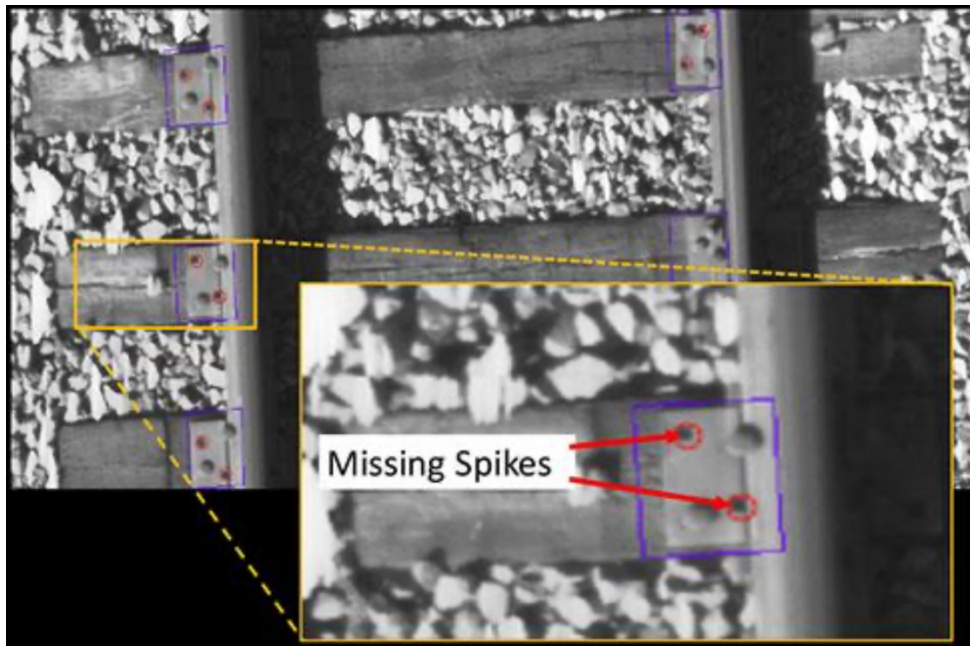
Andra hävdar däremot att drönartekniken har en större potential för att kunna användas som ett arbetsredskap vid inspektion av järnvägsinfrastruktur, och framförallt inspektion av järnvägsbanan. Bland annat kan drönare frambringa detaljerade bilder över spårområdet vilket kan användas för att mäta spårvidden (Singh, et al., 2017). För att mäta spårvidd krävs dock automatiserade datorprogram som med hjälp av datainsamling skapar visuella animationer över järnvägen (Lesiak, 2020).

Från intervju 7 gavs exempel på hur man kan få sådana AI liknande datorprogram att detektera önskvärda områden och delar vid en besiktning. Till exempel kan man låta människor markera vilka områden på en bild, som vanligtvis är tagna av drönare, som visar tecken på brister. Detta visar man sedan för AI-programmen som lär sig att identifiera liknande företeelser. *Figur 11* visar hur program kan identifiera trasiga slippers. Desto större material av gamla bilder som AI-programmen har som referens, desto bättre

kan den då bli på att identifiera eventuella fel, *se figur 12*. Dock beror detta på vilka typer av bilder som analyseras. I många fall används olika typer av järnvägssystem världen över. Därav, ifall ett datorsystem har kunskaper om till exempel ett kinesiskt järnvägssystem, så krävs det eventuellt att det omprogrammeras om det skall användas i Sverige.



Figur 11 Visar en bild tagen av en drönare, där ett AI-program kunnat identifiera trasiga slipers (Scopito, 2018)



Figur 12 Visar en bild tagen av en drönare, där ett AI-program kunnat identifiera brister (Scopito, 2018)

Program som kan identifiera fel uppskattas i vissa fall ha en detekteringsförmåga motsvarande en människas, med fördelen att den kan analyseras material både konstant och snabbare (Intervju 7). För vissa AI-program där osäkerhet råder, kan fel ändå detekteras men kan då behövas efterkontrolleras av en människa. Detta görs genom att programmet exempelvis uppger att den är 70% säker att ett fel har identifierats, därefter får en människa studera bilderna och bekräfta felet inför en reparation.

4.2 Faktorer som kan påverka en implementering av drönarteknik

I teorin kan flera faktorer påverka en implementation av drönarteknik inom järnvägsunderhåll. Genom intervjuer med aktörer inom branschen så har vissa faktorer kunnat fastställas, bland annat faktorer kopplat till kontraktsskrivning och regelverk. Intervjuerna antydde även på att flera av faktorerna kunde anknytas till Trafikverket, varpå även Trafikverkets förmåga att implementera ny teknik och dess organisation undersöks.

Flera av intervjupersonerna bedömer att tekniken i sig inte är en begränsande faktor. Istället bedömer många av dem att drönartekniken i dagens läge är tillräckligt bra för att kunna användas för järnvägsunderhåll. Intervjuperson 1 säger att tekniken finns och är tillräcklig för en implementering, men att det emellertid är regelverket knutet till tillståndsbedömning som begränsar. Intervju 3 uppger också att tekniken är tillräckligt utvecklad, och menar att det huvudsakligen är regelverket samt Trafikverket som hindrar en implementering. Intervjuperson 4 säger även att tekniken är bra, men poängterar istället att viljan att se drönartekniken som ett verktyg saknas inom branschen. Med anledning av dessa intervjusvar har därför tekniken kring drönare ej bedömts vara en hindrande faktor för en implementering vid järnvägsunderhåll.

4.2.1 Kontrakt och upphandling

Enligt intervju 3 vill järnvägsentreprenörer ofta vara bra på att implementera ny teknik. Dock styrs och begränsas entreprenörerna av de kontrakt som skrivs, i vilka det står vad man får och inte får göra. I många fall skapar detta inte något utrymme för att pröva att använda ny teknik. Med detta instämmer även intervjuperson 5. Bland annat nämns att på grund av att kontrakten är specifika, och på grund av att de oftast hänvisar till Trafikverkets föreskrifter, så leder det till att entreprenörer inte har möjlighet att varken ta egna initiativ eller göra egna tolkningar av vad de kan göra i sina kontrakt. De är med andra ord ytterst begränsade efter kontraktens utformning.

Även om kontrakten i sig är begränsande i den synvinkel kring vad entreprenörerna får och inte får göra, så uppmuntrar de samtidigt till en effektivitet enligt vissa av de intervjuade personerna. Intervjuperson 5 berättar att ersättningsmodellen för en besiktning, exempelvis för en växelvärmare, generellt går efter ett fast pris. Om en entreprenör då i teorin kan utföra sitt arbete snabbare kan de få en ekonomisk vinning av det. De har alltså incitament att effektivisera sitt arbete. Som ett exempel, ifall en entreprenör kan göra samma jobb på halva tiden, så tjänar de i princip dubbelt så mycket.

Från intervju 3 nämns även att underhållskontrakten ofta är baserade efter en fast tid där underhållet måste genomföras. Tar underhållet längre tid än den

planerade fasta tiden ger Trafikverket ut kvalitetsavgifter eller böter baserat på antal förseningsminuter på grund av att arbetet hindrat trafiken. Intervjuperson 3 tillägger att detta också skapar incitament hos entreprenören att effektivisera och förbättra sitt arbete på så sätt att underhållsprojekten hålls inom den förutbestämda tidsramen.

Från intervju 5 framkommer att underhållskontrakten ofta är formulerade att när en funktion ska levereras till ett fast pris, får entreprenörerna ingen ekonomisk vinning på att leverera en bättre funktion. Intervjuperson 5 antyder att det ger entreprenörerna incitament att ej utföra underhåll. Anledningen är att ett fast pris motiverar till att göra så lite som möjligt samtidigt som man vill ta maximalt betalt.

Intervjuperson 1, till skillnad från intervjuperson 5, säger att ersättningsmodellerna för själva besiktningarna ibland kan vara rörligt. Beroende på hur kontrakten därmed ser ut, kan det vara så att entreprenörerna får mindre betalt om de kan dra ner sin egen personal för att utföra samma jobb. I sådana fall ger en rörlig ersättningsstruktur försämrade ekonomiska incitament att arbeta för effektiviseringar inom besiktningens verksamhet.

Andra tror att sättet kontrakten är utformade på, ej ger incitament till effektivitet. Ett exempel är intervjuperson 6, som anser att entreprenörerna till stor del inte är stimulerade till att ta någon risk, som annars kan vara förknippat med försök till effektiviseringar. Detta bygger intervju 1 vidare på, och uppger att entreprenörerna inte har några starka incitament att ta egna initiativ och att verka för förändring. I dagens läge, beroende på hur underhållskontrakten är utformade, så får man betalt för att göra en besiktning. På de avvikelser som upptäcks under besiktningen, får man sedan betalt för att åtgärda besiktningens anmärkningar. Detta är kontrakten tydliga med, och det finns därav inget utrymme eller några naturliga drivkrafter att vilja göra arbetet på ett annat sätt.

När intervjuperson 1 pratar med olika entreprenörer, framkommer det ofta att det finns en brist på drivkraft för att driva innovation, genom sätten kontrakten är utformade på idag. De får en ersättning för felavhjälpning samt åtgärdandet av besiktningens anmärkningar. Från deras perspektiv, så som entreprenörer har tolkat och kommunicerat med Trafikverket om, finns det därmed inga incitament för att vara proaktiva och att jobba med att förebygga fel och anmärkningar, innan de uppstår.

Intervjuperson 3 uppger att dagens kontrakt och upphandlingar för underhåll av järnväg är snedvridna. Med det menas att många aktörer, som i dagens läge genomför drift- och underhållskontrakt, går i förlust. Det är istället underentreprenörerna till huvudentreprenören som sitter på kontrakten, som får den ekonomiska vinningen. Därav är dagens upphandlingsform kring drift och underhåll en skev sådan med stora brister.

Intervjuperson 3 menar att det i teorin hade varit enkelt att via de baskontrakt på underhåll av järnväg, ge utrymme för testning och en implementering ny teknik såsom drönartekniken. Även om det finns innovationsprojekt, exempelvis via den statliga myndigheten Vinnova, så har dessa projekt ofta ingen direkt mottagare. Detta gör det otydligt hur en implementering ska ta plats. På grund av detta har entreprenörer till Trafikverket ibland efterfrågat möjligheten att få testa ny teknik såsom drönare skarpt i några drift- och underhållskontrakt. På så sätt skulle man kunna se ifall tekniken fungerar i verkligheten. Idag är steget för stort att gå från ett innovationsprojekt, till att skarpt implementera en teknik såsom drönare i alla underhållskontrakt.

Intervjuperson 3 berättar vidare att det i grunden är Trafikverket som måste möjliggöra entreprenörer att arbeta med ny teknik, i detta fall drönare, i deras underhållskontrakt. En lösning skulle till exempel kunna vara att tillföra en viss summa pengar i varje kontrakt som är avsedda specifikt för innovation. Trafikverket skulle då kunna driva entreprenören att komma med nya lösningar. I dagsläget har Trafikverket utvecklat två nya underhållskontrakt, bland annat kontraktmodellen Samverkan Hög nivå, med mål att arbeta på detta nya arbetssätt. Myndigheten har dock ännu inte bestämt i vilken utsträckning de vill genomföra kontrakten.

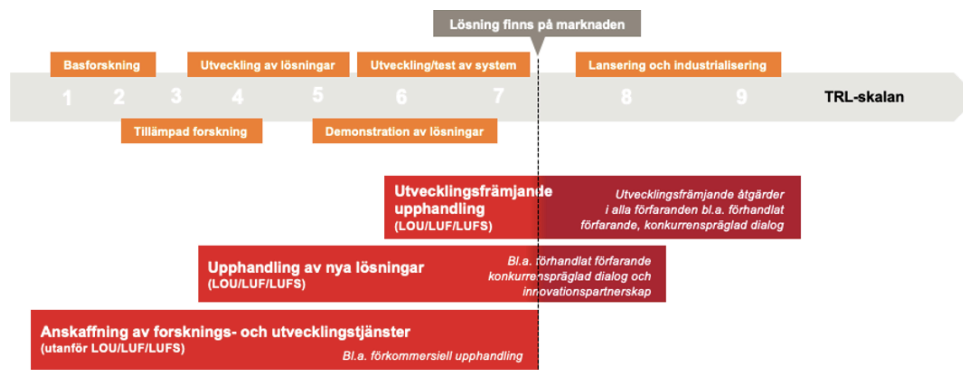
Samverkan Hög nivå och Samverkan basnivå är två typer av kontraktmodeller som Trafikverket använder sig av för att uppnå ökad produktivitet och innovationsförmåga inom anläggningsbranschen (Trafikverket, 2019a; Trafikverket, 2018a). Båda modeller innebär ett nära samarbete mellan leverantör och beställare, för att säkerställa effektiva arbetssätt, förbättringar, rätt kvalitet och god måluppfyllelse. Samverkan basnivå är tänkt att användas inom verksamhetsområden stora projekt, investeringar och underhåll (Trafikverket, 2018a). Samverkan Hög nivå är tänkt att endast användas för stora projekt och investeringar (Trafikverket,

2019a). Samverkan Hög nivå är även en resurskrävande kontraktsform och tillämpas i begränsad form, främst på nationell nivå för komplexa projekt.

Från intervju 1 sades att Trafikverket försöker få in kontraktsmodeller, så som Samverkan Hög nivå, i de olika basunderhållskontrakten. Det ska då stå att entreprenören ska vara beredd att jobba med innovationer och ta till sig digitaliseringens möjligheter. Alltså ska det inom basunderhållskontrakten finnas möjlighet att driva innovation och nya lösningar. Under år 2021 är det 18 basunderhållskontrakt som skall förnyas, och Trafikverket försöker enligt intervju 1 få in ökade möjligheter till innovation i dessa.

Intervjuperson 1 berättar vidare att Trafikverket måste genomföra all upphandling i konkurrent enligt lagen om offentlig upphandling. Detta har skapat ett gap där det kan vara svårt att få produkter från en forskningsfas till en kommersiell fas. I dagens läge upphandlar Trafikverket sällan om kommersiella produkter som kommer direkt från forskningsfas. För att motverka detta har dock Trafikverket börjar med något som kallas innovationsupphandling. Det innebär i praktiken att Trafikverket köper utvecklingsarbetet tillsammans med den färdiga produkten. På så sätt hoppas man att det gap mellan forskning och implementation ska kunna minimeras.

Enligt intervju 1 kan innovationsupphandlingar delas in i tre olika nivåer. Den första nivån innebär att Trafikverket upphandlar arbetet från forsknings och utvecklingstjänster fram till färdig lösning för marknaden. Traditionellt tar då Trafikverket kontakt med till exempel ett universitet för utvecklingstjänsterna. På denna nivå finns dock en större risk att ett gap uppstår mellan forskning och implementering. Den andra nivån innebär att Trafikverket endast upphandlar kring en ny lösning, utan ansvar för utvecklingstjänsterna. På den tredje nivån upphandlar Trafikverket främst om färdiga lösningar som endast ska anpassas efter deras verksamhet. Sammanfattningsvis sträcker sig de olika upphandlingarna kring olika delar av ett innovationsarbete, där de högre nivåerna exkluderar utveckling av idéer och istället inkluderar en vidare implementering av produkten eller tjänsten, *se figur 13*. Intervjuperson 1 säger att Trafikverket har som uppdrag att verka för ökad innovation och effektivitet, och innovationsupphandling är ett bra sätt att uppnå det.



Figur 13 Visar de tre olika typerna av innovationsupphandlingar som existerar (Förenkling av bild, Trafikverket, 2018b)

4.2.2 Regelverk

Även om det finns en god vilja att inom Trafikverket implementera ny teknik, så är regelverket inom Trafikverket ofta ett hinder (Intervju 5). För att få använda en ny teknik måste detta skrivas in i underhållskontrakten. Ur ett vidare perspektiv är, enligt intervju 5, underhållskontrakten i stort sett skrivna och baserade efter regelverket som finns. Därav är regelverket centralt att diskutera som en faktor vid en kommande implementering av drönarteknik.

Intervju 5 berättar att stora delar av dagens regelverk generellt är baserat på ingenjörsmässiga bedömningar. Dessa skulle då kunna handla om vilka funktioner tekniken har, alternativt hur tekniken fungerar. Dessutom nämns att flera av dagens regler fastställdes för en väldigt lång tid sedan. Detta gör att mycket utav den logiken som en gång i tiden låg bakom införandet av en specifik regel, inte längre är aktuell. I flera fall ifrågasätts inte inaktuella regelverk, eller varför många regler ser ut som de gör. Intervjuperson 5 menar att detta leder till ett statiskt regelverk, som ej blir anpassat för ny teknik som drönare. En ytterligare faktor som gör Trafikverkets regelverk än mer statiskt är deras arbetssätt. I dagens läge arbetar Trafikverket inte systematiskt för att utveckla och förbättra sina arbetssätt.

En annan anledning till att regelverket blir mer statiskt än dynamiskt är att ändringar i befintliga regler i många fall är väldigt resurskrävande (Intervju 5). Då regelverket påverkar underhållskontrakten, och underhållskontrakten påverkar underhållet som utförs, kan en ändring av regelverket innebära att

flera kontraktsvillkor måste skrivas om. Dessutom kan det innebära flera praktiska utmaningar där exempelvis personal måste skolas om. Därmed slutar inte arbetet för Trafikverket efter att de infört en förändring i regelverket, utan en förändring resulterar också i en implementering som kräver både tid och resurser från en större del av verksamheten, dess entreprenörer, samt dess leverantörer.

Under intervju 6 sades också att det ofta är regelverket som begränsar entreprenörer från att testa och använda ny teknik. Det nämndes även att även om regelverket inte förbjuder en ny teknik, så begränsar den fortfarande en implementering av den. Detta då det är resurskrävande att verifiera ifall en ny teknik motsvarande den som används, uppfyller det befintliga regelverket. I många fall ställs även högre krav på den nya tekniken jämfört med de befintliga metoder som redan används. Detta försvårar därmed en ny teknik från att kunna användas inom branschen.

Det allmänna regelverket specifikt för drönare kan även vara en begränsande faktor. Intervjuperson 4 förklarar att grunden i reglerna för att få flyga drönare är bra. En stor andel av dessa regler fokuserar kring ett säkerhetstänk och risker. En riskanalys innan flygning måste exempelvis oftast göras, och om en sådan görs är det oftast enkelt att få tillstånd att flyga. Enligt intervju 4 kan detta däremot vara en begränsande faktor. Om man i teorin inte har erfarenhet eller kunskaper angående flygning sedan tidigare kan det vara svårare att få tillstånd. Ett litet bolag inom järnvägsunderhåll kan därför få det svårare att utveckla sin verksamhet och börja använda alternativt testa drönartekniken på egen hand, utan kan istället behöva anlita en utomstående aktör med rätt erfarenhet för att utföra flygningarna.

Då kravet på C-klass för drönare också är relativt nytillkommet finns idag ett begränsat antal C-klassade drönare ute på marknaden (Intervju 4). Äldre drönare som generellt inte är C-klassade hamnar i en övergångsklass, som innebär att användningen av sådana drönare är begränsad (Transportstyrelsen, 2021). Exempelvis får man inte flyga sin drönare närmare än 150 meter från bostäder, industrier eller rekreativsområden. Under intervju 4 framgick det att inspektion av järnväg kan vara ett exempel på detta, vilket innebär att specialtillstånd krävs för sådana inspektioner.

När det kommer till Trafikverkets regelverk så menar intervjuperson 5 emellertid att det inte är regelverket i sig som är den begränsande faktorn för

en implementering av ny teknik. Istället är det hanteringen av regelverket som är den huvudsakliga anledningen. När det kommer till Trafikverket, så är det en väldigt teknikintresserad myndighet. De vill testa att använda ny teknik, men det gäller dock att parallellt med testerna säkerställa att tekniken är tillräckligt bra samt att hitta verktyg för att kunna reglera den. För att kunna göra detta måste Trafikverket bli bättre på att använda nya metoder och arbetssätt för att bygga upp dynamiska regelverk som kan göra verksamheten bättre. Detta för att på så sätt gå ifrån de befintliga statistiska regelverken. Det gäller att skapa en teknikmognad inom organisationen och visa på att digitalisering faktiskt kan förbättra Trafikverkets arbetssätt.

4.2.3 Trafikverkets förmåga att implementera ny teknik

En del i att kunna bedöma potentialen av drönarteknik är utöver dess tillämpningar även att analysera järnvägsbranschen, i detta fall främst Trafikverket, förmåga att implementera ny teknik. På så sätt kan en förståelse fås för hur snabbt eller långsamt en implementering av drönarteknik kan bli.

Enligt intervju 1 finns olika tankesätt kring Trafikverkets förmåga att implementera ny teknik. Intervjuperson 1 hävdar att vissa som analyserat Trafikverkets förmåga att använda ny teknik varit ganska positiva i sitt omdöme. Andra har visat på det motsatta och säger att Trafikverket inte alls har förmåga att nyttja ny teknik. Dock är intervjupersons 1 personliga åsikt att Trafikverket generellt sett är ganska dåliga på att implementera ny teknik. Intervjuperson 4 tillägger att dennes erfarenhet är att järnvägsbranschen som helhet, inkluderat Trafikverket, är konservativ och svår att förändra. Detta underlättar inte införande av ny teknik såsom drönarteknik. Intervjuperson 2 instämmer i detta, och menar att branschen har en dålig förmåga att börja använda nya lösningar till det arbete de uträttar.

Från intervju 3 uttrycktes Trafikverket som en långsam myndighet att arbeta med, och att de har en låg förmåga att arbeta med och att implementera ny teknik. En av anledningarna troddes vara att Trafikverket är en stor myndighet. En allmän uppfattning är att sådana stora myndigheter upplevs ta längre tid på sig att utföra vissa saker, jämfört med privatägda bolag. Intervjuperson 6 hade en liknande uppfattning kring Trafikverket. Entreprenörer som Trafikverket arbetar med upplevs ofta som är positiva till att föreslå nya idéer. Sedan är Trafikverket ofta tröga på att ta in och

implementera dessa idéer. Dock anser inte intervjuperson 6 att det nödvändigtvis behöver vara Trafikverket som konstant är den drivande aktören vid en implementering av ny teknik såsom drönarteknik. Däremot måste Trafikverket vara öppna för en implementation och den förändring som en ny tekniken kan medföra.

I en undersökning gjord av Hawzheen & Sandberg (2012) på uppdrag av Trafikverket, analyseras bland annat hur och i vilken grad utvecklingsprojekt implementerats inom olika verksamheter. Undersökningen genomfördes inom anläggningsbranschen som helhet och inte järnvägsbranschen specifikt. Resultatet visar att flera utvecklingsprojekt lett till förbättrade produkter och tjänster vilket kan effektivisera underhåll och drift. Dock visar resultatet även på att implementeringen av dessa produkter och tjänster är begränsad. Implementeringsgraden hos Trafikverket låg på 13%, medan samma siffra för andra entreprenörer låg kring 9%. Anledningen till den låga implementeringsgraden tros bero på låg kännedom om projekten då de sällan kommuniceras till fler än de som är involverade. Otydliga resultat anges också som en orsak eftersom rapportering inom projekten inte följer angivna mallar vilket gör det svårt att jämföra resultat.

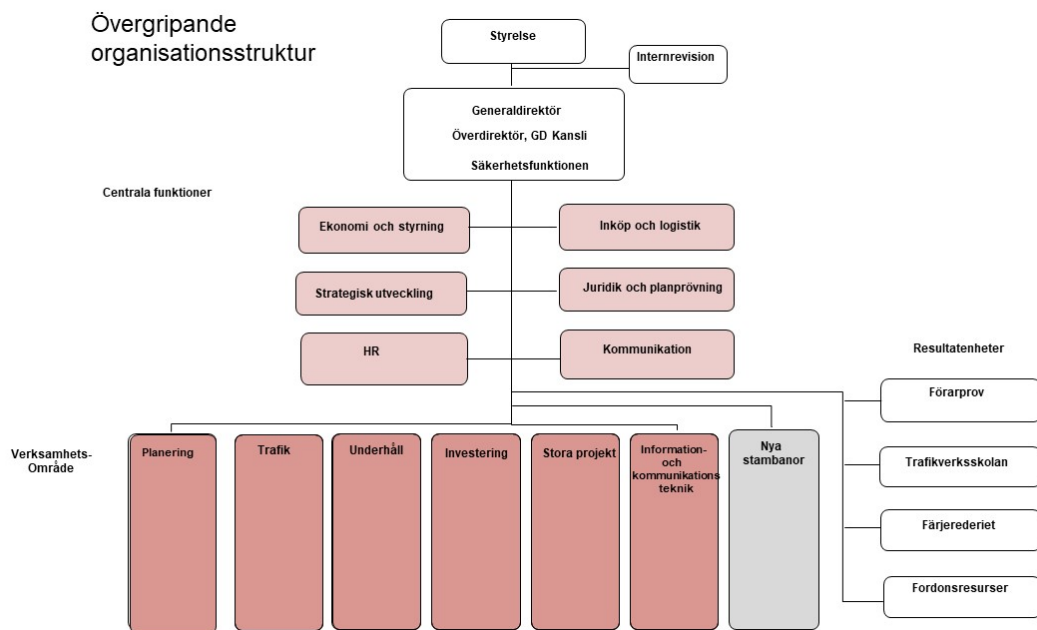
En intern undersökning gjord av Trafikverket (Wargsjö, et al., 2019) visar dock på att myndigheten har en bra förmåga att nyttiggöra nya kunskaper. Denna undersökning analyserade nyttiggörande av de resultat som fås från avslutade forsknings- och utvecklingsprojekt inom Trafikverket. Resultatet visade bland annat att nästan samtliga projekt gav någon form av kunskapshöjning, och att merparten av projekten levererade resultat som används i verksamheten. En framgångsfaktor sägs vara att Trafikverkets handläggare för projekten är knutna till en specifik verksamhet och har på så sätt en djup verksamhetskunskap. Konsekvensen blir att det blir en tydligare koppling till den del av verksamhet där resultatet ska implementeras.

Rogers (2003) skriver att när beslut kring implementeringen av en innovation ska tas, så går processen långsammare om detta ska göras inom en organisation. Anledningen är att beslutsprocessen är mer komplex jämfört med om det är en enskild individ som ska ta beslutet. Inom en organisation är det istället ofta ett större antal individer som ska ta del av beslutsprocessen. Författarna uppger även att i de organisationer med hög komplexitet, det vill säga de organisationer där dess anställda har en hög nivå av kunskap och expertis, så råder speciella förutsättningar. Anställda med hög nivå av

kunskap kan i vissa fall lättare se värdet av vad en innovation kan ge. Samtidigt råder det ofta svårigheter inom sådana organisationer att nå konsensus kring att implementera dem.

4.2.4 Trafikverkets organisation

Trafikverket som organisation är uppdelat efter centrala funktioner och verksamhetsområden, se *figur 14* (Trafikverket, 2021c). De centrala funktionerna ansvarar för sina områden i hela Trafikverket, och delas in i bland annat *Strategisk utveckling* samt *Ekonomi och styrning*. Under de centrala delarna finns olika verksamhetsområden vilka kan vara *Planering*, *Underhåll* eller *Investeringar*. Dessutom finns resultatenheter som driver specifika delar av Trafikverkets verksamhet.



Figur 14 Visar Trafikverkets övergripande organisationsstruktur (Trafikverket, 2021c)

Under intervju 3 nämndes att en av anledningarna till att Trafikverket är mindre bra på att implementera ny teknik är deras organisationsstruktur. Från intervju 3, beskrevs organisationen som uppdelad efter olika stuprör, och att

det blir svårt att driva en implementering inom de olika stuprören. En rapport från den statliga myndigheten Trafikanalys (2016) bekräftar detta. I rapporten står det att Trafikverket har tecken som pekar mot att det är en så kallad stuprörsorganisation, och att det inte råder någon tydlig samverkan mellan dess olika verksamhetsområden.

Persson & Westrup (2014) beskriver en stuprörsorganisation som en organisation som är uppdelad efter olika funktioner. Vardera funktionen bildar då ett stuprör inom organisationen. Enligt Persson & Westrup (2014) leder denna typ av organisationsstruktur ofta till avgränsningar mellan de olika avdelningarna, vilket genererar svårigheter kring kommunikation och arbete mellan dem. Vidare hävdar författarna att samarbete är en nyckelkomponent inom utvecklingsarbete, men hävdar att detta blir svårt då ingen av de enskilda stuprören bär på det huvudsakliga ansvaret. Istället leder denna typ av organisation ofta till att de enskilda cheferna fokuserar på sina egna intressen och sin egen avdelnings utveckling. Författarna menar dock att lösningar som kan underlätta de utmaningar som stuprörsorganisationer ofta står inför ej ligger på de enskilda funktionerna.

Enligt intervjuperson 3 försvårar Trafikverkets organisation entreprenörernas möjligheter att implementera ny teknik själva. Anledningen är att ifall en entreprenör vill testa alternativt implementera en ny teknik, så måste detta gå igenom de olika stuprören inom Trafikverket. Exempel på detta kan vara att införandet av en ny teknik för underhåll kan komma att kräva potentiella förändringar i både hur kontrakterna är utformade, hur regelverket är utformat och hur underhållet ska skötas.

En ytterligare begränsande faktor är att det idag inte finns personer som går in och driver sådana utvecklingsprojekt inom samtliga stuprör på Trafikverket (Intervju 3). Rogers (2003) säger att om en ny teknik lättare ska få genomslag, är innovationshjältar viktiga inom en verksamhet. Innovationshjältar är ofta karismatiska personer på högt uppsatta positioner alternativt anställda med en hög förmåga att koordinera andras handlingar. När dessa individer sedan ställer sig bakom en teknik och stöttar den, så kan det få innovationen att ta nästa steg till en implementation. På så sätt kan en innovationshjälte ha en stor påverkan på hur en organisations förmåga att implementera en ny teknik ser ut. Rogers (2003) skriver att en ny teknik som inte lyckas stödjas av en innovationshjälte ofta dör ut.

Resultatet av Trafikverkets organisation tillsammans med brist på drivande personer blir enligt intervju 3 att en implementering, av i detta fall drönarteknik inom järnvägsunderhåll, fallerar alternativt tar alldeles för lång tid.

Intervjuperson 10 berättar att vid arbetet att tillåta och implementera drönartekniken i Nederländerna, så var innovationshjältar en viktig del. Enligt intervjuperson 10 så måste det finnas någon som ser fördelarna med drönartekniken och kan övertyga andra om den. Vissa människor i organisationen som till en början var negativa till tekniken har nu på så sätt ändrat sin åsikt och ser istället drönare som ett användbart verktyg. I Nederländerna var dessa innovationshjältar ej högt uppsatta chefer, utan personer i fältet som genom sitt arbete sett potentialen av tekniken.

4.3 Konsekvenser av att implementera drönarteknik

Efter intervjuer med ett flertal olika aktörer inom branschen för järnvägsunderhåll har olika potentiella konsekvenser av en implementering lyfts fram. Den första är kring vad drönartekniken kommer att innebära för branschen, kopplat till resursanvändning. Den andra konsekvensen som delvis är förenad med den förstnämnda är ekonomiska påföljder av ett införande av tekniken. Efter detta har säkerhetsaspekter och risker med en implementering tagits fram. Slutligen har övriga konsekvenser som ej omfattas av de tidigare rubrikerna presenterats. Tills nu används som tidigare nämnt inte tekniken skarpt inom Sverige, och därav finns inte heller alltid några exakta kvantifieringar på vad konsekvenserna kommer att bli vid en framtida implementering.

Enligt intervju 6, kommer det vara den relativa fördelen med drönarteknik jämfört med nuvarande arbetssätt, som kommer bli den avgörande för att en implementering ska ta plats. Intervjupersonen menar att ifall det går att påvisa en enskild förtjänst med drönartekniken, som ej går att göra på något annat sätt eller med samma effektivitet, så kommer det vara det vinnande argumentet för att Trafikverket ska acceptera tekniken. Med andra ord är eventuella konsekvenser vid en implementation viktigt att analysera, då det är dessa som ger drivkraften och viljan till att acceptera ett införande av själva tekniken.

4.3.1 Förändrade behov av resurser

Från intervjuerna har förändrade behov av resurser från en drönarimplementation tagits upp. Många av dessa aspekter har kretsat kring tiden det tar att utföra en besiktning, behov av personal samt behov av att stänga av spår.

Från intervju 3 nämns att en implementering av drönarteknik vid järnvägsunderhåll skapar effektivare resursbehov och konkurrenskraft. Tidsbesparingar är en aspekt där drönarteknik bedöms kunna göra skillnad. Intervjuperson 3 säger sig från egna undersökningar kunna påvisa tidsbesparingar. Vid inspektion av växelvärmare inom ett spårområde kan tiden förkortas från 4 dagar med manuell inspektion till ca 4.5 timmar med drönarteknik. Detta motsvarar en tidsbesparing med ca 86%. Dock inkluderas här inte eventuellt extra tid för kalibrering av drönare. Nordic Infracenter (2020) har även gjort liknande analyser av tidsbesparingar under fältstudien vid Grimstorp. Deras resultat visade på att en inspektion av växelvärmare inom ett spårområde kunde förkortas från 2 timmar, till 40 minuter med hjälp av drönarteknik. Detta motsvarar en tidsbesparing på ca 67%. Denna inspektionstid inkluderar här även kalibreringstiden för drönaren. Intervjuperson 6 uppger att vid manuella besiktningar av växelvärmare, så är det ofta inte inspektionen av växelvärmaren i sig som tar lång tid. Ofta är det ställtiden, det vill säga tiden att ta sig mellan växlarna, som tar längst tid.

En projektundersökning som analyserade användandet av drönare vid inspektion av järnvägsbroar visade på liknande resultat när det kommer till tidsbesparingar (Chan, et al., 2017). Projektet baserades på 21 000 tagna bilder på 7000 olika stålelement på broarna. Resultatet visade på att man under vissa tillfällen kunde inspektera 11 broar under 9 dagar, vilket innebar en tidsbesparing på ca 80 %. Traditionella inspektionsmetoder krävde i snitt 3 till 5 dagar per bro.

Implementering av drönare påverkar även antalet arbetare som krävs för att utföra en besiktning. Vid studien i Grimstorp insåg de bland annat att vid en besiktning av växelvärmare så kunde detta utföras av en person under dagtid, istället för normalt sätt två personer under nattetid. När intervjuperson 3 under egna undersökningar som tidigare nämnts, prövade de att använda

tekniken, resulterade det även här till att behovet av närvarande personal vid besiktning kunde gå från två personer till en.

Behovet av personal kan även komma att se annorlunda ut i aspekter kopplade till kompetenser. Ifall en besiktning ska ta plats med hjälp av en drönare, måste personen som utför besiktning inte endast vara bekant med hur besiktningen ska gå till, den måste även vara utbildad och behörig att flyga drönaren. Dessvärre har dock Trafikverket, trots efterfrågningar från entreprenörer, ej uppvisat några riktlinjer kring vilken typ av drönare som kan vara aktuell att använda, eller i vilken utsträckning de efterfrågar att personalen som utför besiktningen är utbildad (Intervju 3). Intervjuperson 3 säger att på grund av dessa brister på riktlinjer skapas osäkerheter och svårigheter kring hur entreprenörer ska agera och ställa sig till eventuellt kommande direktiv från Trafikverket.

Drönare medför också förändrade arbetssätt när det kommer till avstängt spår. Enligt intervju 1 behövs idag ofta järnvägsspår stängas av i samband med besiktningar på grund av säkerhetsskäl. Dock är det i dagens läge ofta svårt att få tillgång till avstängt spår då järnvägsnäten är tungt belastade. I praktiken är tid i spår en bristvara. Helst vill man att järnvägsspåren ska vara trafikerade och inte avstängt när underhåll ska utföras. Intervjuperson 1 berättar vidare att när underhåll med avstängt spår ska genomföras planeras dessa ofta in under fasta tider. Då underhållsprojekt oftast är komplexa samt utgör svåra arbetsmiljöer för arbetare, blir resultatet dock ofta att insatser drar ut på tiden, vilket medför trafikstörningar. Detta underlättas inte heller av att de planerade fasta tiderna för underhållet ofta är för korta. Intervjuperson 3 berättar att genom att använda drönare vid underhåll kan man minska tiden när spåren är avstängda, och på så sätt minska trafikstörningar samt öka punktligheten för tågen.

4.3.2 Ekonomiska konsekvenser

Intervjuperson 4 förklarar att den främsta kostnaden för att operera en drönare är kopplat till inköpet av drönaren. Priset för drönaren kan dock skilja sig åt beroende på modell. Dessutom kan livslängden mellan olika drönaren skilja sig åt, vilket gör att generella kostnader kan vara svårt att uttala sig om. Utöver själva inköpet tillkommer även vissa mindre

driftkostnader för till exempel strömföring till drönaren. Dock säger intervjuperson 4 att dessa driftskostnader generellt är låga för drönare.

Projektundersökningen som analyserade användandet av drönarteknik för inspektion av broar kunde utöver de tidsmässiga konsekvenserna även påvisa vissa ekonomiska konsekvenser (Chan, et al., 2017). När drönartekniken implementerades kunde 11 stålbroar inspekteras på 9 dagar, istället för 3 - 5 dagar per bro vilket tidigare var normalfallet. Detta ledde till att tiden kunde reduceras med 80 %. Den procentuella kostnadsminskningen av att använda drönarteknik vid inspektion av broar uppskattades i projektundersökningen till att även vara 80 %, det vill säga identisk med den procentuella tidsminskningen.

Mälarbanan är ett exempel på en av de 34 olika kontraktsområdena för basunderhåll. I det kontraktet är kontraktssumman för samtliga basunderhåll på ca 38,6 miljoner kronor årligen (Trafikverket, 2018c). Den totala kostnaden för all typ av besiktning inom detta kontrakt, det vill säga för säkerhetsbesiktning, underhållsbesiktning, samt tillfällig besiktning/kontroll/tillsyn, är på ca 3,2 miljoner kronor årligen. Detta betyder att kostnaden för all typ av besiktningens verksamhet för *Mälarbanan*, inklusive besiktning av växelvärmare, kontaktledning och bana, är på ca 8,3 % av den totala kontraktssumman av basunderhållet. I detta kontrakt var den största delen av besiktningens verksamhets kostnader fasta kostnader, med endast den tillfälliga besiktning/kontroll/tillsyn på ca 270 tusen kronor satt som rörlig.

För järnvägen i *Malmö och sydöstra Skåne* är kostnaden för det totala kontraktet på ca 88,9 miljoner kronor årligen (Trafikverket, 2014). Besiktningens verksamheten inom detta kontrakt inkluderar endast säkerhetsbesiktningar på fast pris till ca 4,6 miljoner kronor årligen, samt tillfällig besiktning med en rörlig kostnad på ca 100 tusen kronor. Av den totala kontraktssumman är alltså kostnaden för all typ av besiktning inom kontraktet ca 5,2 %.

Intervjuperson 9, som arbetar som projektledare av besiktningens verksamhet med hjälp av olika flygtjänster såsom drönare och helikoptrar, säger att det råder ekonomiska osäkerheter kring att flyga drönare. Om man jämför med en helikopter, så har den en schemalagd service och en god säkerhet. För drönare upplever intervjuperson 9 däremot att det inte råder samma

schemalagda service och att tekniken vid flygningar inte kan leverera samma driftsäkerhet. Det i kombination med att försäkringar för en drönare tillsammans med den utrustning som monteras på drönaren är svår att köpa, leder till stora ekonomiska risker för företaget som använder sig utav tekniken. Den kamera och skannerutrustningen som intervjuperson 9 använder sig utav vid besiktningsverksamhet av kraftledningar med hjälp av helikopter kostar upp emot 500 000 USD.

4.3.3 Säkerhet och risker

Enligt intervju 3 är säkerhetsaspekten en mycket viktig faktor. Här nämner intervjuperson 3 att en positiv konsekvens vid en implementation är att behovet av personal i spåret minskar. På så sätt hade vissa risker förknippade med arbete i spår kunnat avvärras. Intervjuperson 4 tillägger att säkerhetsaspekten av minskat behov av personal i spåren är en av de största enskilda drivkrafterna för att tekniken ska implementeras.

En viktig aspekt vid en potentiell implementation av drönarteknik vid järnvägsunderhåll är kopplat till säkerhet och risk. Intervju 5 berättar att det är viktigt att förhålla sig till risker, såsom att drönaren kör in i ett tåg, i en kontaktledning, alternativt i människor som vistas i närheten av spårområdet. Intervjuperson 4 säger samtidigt att detta är något som en drönarpilot alltid tänker på inför en flygning. Dessutom är det enligt resultatet ofta krav på att en riskanalys ska göras innan flygning. Intervjuperson 4 uppger även att detta tankesätt kopplat till risker finns kvar under själva flygningen, där det gäller ett styra drönare så att den flyger på ett säkert sätt och utan att ta onödiga risker att drönare skadar någon eller någonting.

När man använder drönarteknik kan det uppstå problem kopplat till integritet och oönskad övervakning. Anledningen är att drönarteknik främst använder foto och filmer vid besiktningar till skillnad från dagens manuella besiktningar. Intervjuperson 4 berättar att vid flygningar och filmning gäller dataskyddsförordningen GDPR. Här får man då exempelvis inte ta bilder på människor så att de är identifierbara. För om så är fallet, måste tillstånd ges från dessa personer, innan bilden kan sparas ner. Utöver detta uppger intervjuperson 4 att man inte ska flyga en drönare på ett sätt att det stör människor och så att människor inte känner sig kränkta. Generellt sätt är detta inte ett problem vid flygning över järnväg, då människor oftast inte befinner

på eller omkring sådana sträckor. Undantaget till detta är när järnvägen passerar trädgårdar eller perronger där folk vistas.

Ett annat problemområde vid potentiell implementation är spridningstillstånd (Intervju 4). Intervjuperson 4 säger att tillstånd måste sökas för de flesta bilder tagna från luften innan dessa sprids vidare. Undantag till när ett tillstånd inte behöver sökas är ifall bilden endast innefattar skog, jordbruksmark, golfbanor, byggarbetsplatser, eller bostäder (Lantmäteriet, 2018). Bilder på sådana områden i kombination med exempelvis större vyer över horisonten, innefattas inte av undantaget då större vyer i teorin kan innehålla andra typer av skyddsobjekt. Om järnvägsområden jämföras med offentlig plats ges undantag från spridningstillstånd, i övriga fall måste alltid tillstånd ansökas om.

Intervjuperson 4 ger ett exempel på när de flugit drönare för att dokumentera järnväg. Vid detta tillfälle fotograferades järnväg genom att drönaren flög över spåret och tog foton på marken nedanför. I efterhand visade sig detta vara ett skyddsobjekt. Utmaningen är hur drönarpiloter ska kunna veta detta, i och med att skyddsobjekt är hemliga. Detta är anledningen till varför bilder först måste skickas till Lantmäteriet för bedömning om bilden är tillåten att spridas vidare. Enligt intervjuperson 4, behöver dock inte ett tillstånd ansökas, ifall det är entreprenören själv som tagit bilderna och ifall de inte har till avsikt att sprida dessa vidare utanför företaget.

Intervjuperson 9 anser dock att lagstiftningen kopplat till att sprida bilder tagna av drönare inte är något större hinder i arbetet. Ofta när en drönarpilot ska ta bilder för besiktning av en anläggning, så gör man det för en kund som ofta äger anläggningen. Då uppger intervjuperson 9 att det inte är några problem att sprida dessa bilder till den specifika kunden.

Intervjuperson 8, specialist inom elkraft och beställare av besiktningsflygningar på Trafikverket, säger att Trafikverket har mycket fokus på säkerhet och anläggningsklassningar. I detta fokus ingår även data och dokumentation av sina anläggningar. Enligt intervjuperson 8 har Trafikverket vissa anläggningar som räknas som skyddsobjekt, och där råder det fotoförbud. Även ifall Trafikverket då vill beställa flygtjänster för besiktning av en enskild stolpe, så kan det försvåras ifall omgivningen kring denna stolpe räknas som ett skyddsobjekt. Detta är därmed säkerhetsaspekter Trafikverket måste förhålla sig till.

4.3.4 Övriga konsekvenser

Intervju 9 säger att en vanlig uppfattning om drönare är att de är ett miljövänligt alternativ för besiktningsverksamhet. Anledningen är att drönare ofta är elektroniska och har inbyggda batterier, vilket inte skapar ett behov att använda fossila drivmedel. Dock påpekar intervjuperson 9 att i många fall måste besiktningar göras över längre sträckor, och då räcker inte batteridrivna drönare till. I de situationerna måste istället hybrida drönare i flera fall användas, vilket ändå skapar ett behov av fossila drivmedel. Därför säger intervjuperson 9 att drönare i alla situationer inte behöver vara lika miljövänliga som påstås. Detta skiljer sig dock som tidigare nämnt från situation till situation. För att göra en bedömning måste en livscykelanalys göras, vilket innebär att kontrollera de olika drönarnas totala miljöpåverkan under dess livslängd. Detta är dock ännu ett begränsat forskningsområde.

5 Diskussion

Diskussionen är uppdelad efter de tre huvudfrågeställningarna. Då teorin Diffusion of Innovations behandlar hur snabbt en teknik implementeras, har den valts att inkluderas under frågeställningen som handlar om faktorer som påverkar en implementering.

5.1 Hur kan drönarteknik implementeras inom järnvägsunderhåll?

Resultaten visar på att drönarteknik kan tillämpas vid inspektion av järnväg. Tekniken lämpar sig bra på svårtillgängliga platser som broar, men även hårt belastade järnvägssträckor där spåren inte behöver stängas av. En viktig aspekt är även att potentialen av drönare är beroende av hur lång järnvägssträcka som ska inspekteras. Ska längre sträckor undersökas från luften finns en indikation på att hybrida drönare eller helikopters istället används. Detta bekräftas även av implementationen i Nederländerna, där järnvägsentreprenörer valt att främst använda drönare vid inspektion av specifika och kortare järnvägssträckor.

I fallet med Nederländerna visade även resultatet på att landet kommit betydligt längre än Sverige när det kommer till implementering av drönare. Det nederländska regelverket tillåter redan idag användning av drönare för inspektion av järnväg. Det är upp till entreprenörerna själva att använda tekniken ifall de finner den lämplig. I Sverige kan regelverket istället sägas vara striktare och tillåter inte på samma sätt användning av drönare. Därmed har de svenska järnvägsentreprenörerna inte samma valmöjlighet att testa och implementera tekniken som nederländska entreprenörer. Då utvecklingen i Nederländerna ligger i framkant kan en slutsats vara att utfallet i Sverige kan komma att se ut på liknande sätt om det svenska regelverket i framtiden skulle förändras. Detta skulle kunna leda till att drönartekniken främst

kommer användas för inspektion av kortare sträckor i Sverige, likt hur den nu används i Nederländerna.

När det kommer till implementering av drönare för inspektion av växelvärmare visade resultatet på att det finns en potential. Nuvarande regelverk ställer dock krav på att vissa besiktningar av växelvärmare måste vara okulära, vilket innefattar detaljerad inspektion av komponenter. Detta gäller en av två årliga besiktningar. I dessa fall är bedömningen att drönartekniken inte helt är användbar då manuella inspektioner kan vara mer praktiskt lämpade. Drönartekniken är däremot mer användbar för icke-okulära inspektioner, som kontroll av funktion. Sammantaget kan alltså sägas att även om drönartekniken potentiellt kan användas för inspektion av växelvärmare, hindrar regelverk och krav på okulära inspektioner den från att nå sin fulla potential. En fråga som dock uppstår är ifall de okulära besiktningarna alltid är nödvändiga. Om fler funktionsbesiktningar skulle utföras istället för okulära besiktningar kan drönarteknikens potential höjas. Detta är dock en mer teknisk fråga vilket inte vidare undersökts i denna rapport.

En annan aspekt, när det kommer till drönarteknik för inspektion av växelvärmare, är utetemperaturens påverkan. Om utetemperaturen är väldigt hög försvårar det att se funktionen av växelvärmarna. Detta försämrar potentialen något då inspektioner begränsas till att främst utföras under svalare tider. Resultatet visade även på att om drönarteknik används kan inspektioner av växelvärmare lättare utföras under dagtid, till skillnad från nattetid vilket är standard idag. Anledningen är att spår inte behöver stängas av vid drönarinspektioner. Det kan dock tänkas att utetemperaturer i de flesta fall är högre dagtid jämfört med nattetid. Alltså kan en avvägning behöva göras mellan hur lätt man vill se de olika växlarna, jämfört med om man vill utföra inspektioner dagtid eller nattetid. De besiktningar som i dagens läge tar plats när en växelvärmarens funktion ska testas sker dock under vintern. På så sätt kan det antas att utetemperaturen även är tillräckligt kall för att en besiktning ska kunna ta plats dagtid.

För inspektioner av bana med drönarteknik visar resultatet på att AI-program kan ha en stor inverkan på potentialen att använda drönarteknik. Välutvecklade AI-program har potentiellt en bättre förmåga att upptäcka fel i järnvägen, vilket gör att potentialen även för att använda drönare höjs. Detta kan även gälla både helikoptrar och mätvagnar. För att AI-programmen ska

kunna upptäcka felen krävs dock att en människa till en början ger exempel på hur felen ser ut. En felkälla kan därmed vara att människan ger fel exempel. Detta skulle då kunna leda till att AI-programmen till exempel inte kan urskilja trasiga komponenter från hela. Alltså är det viktigt att de AI-program som används tillsammans med drönare eller andra inspektionsfordon från början är rätt utvecklade, för att full potential skall nås. Resultatet visade även på att AI-programmen kräver en viss inlärningstid för att med hög sannolikhet kunna urskilja felen. En längre inlärningstid kan dock försämra potentialen att börja använda och implementera drönarteknik.

Från resultatet visade Grimstorpsstudien på att användning av drönarteknik för inspektion av bana inte var helt lämpligt. Den främsta anledningen var att befintliga inspektionsmetoder ansågs vara bättre. Andra delar av resultatet ansåg dock att drönarteknik har en väldigt god potential för inspektioner, förutsatt att bra AI-program används som komplement. En viktig analys är emellertid att Grimstorpsstudien inte använde sig av något AI-program alls. Det kan vara en av anledningarna till att de drog slutsatsen att drönartekniken har begränsad potential att användas för inspektion av bana. Sammanfattningsvis kan alltså bedömningen vara att potentialen av drönarteknik för inspektion av bana beror på om och hur avancerade AI-program används. Utöver inspektion av bana skulle eventuellt AI-program även kunna användas för inspektion av kontaktledningar. En utmaning med kontaktledningar kan dock vara att många bilder tas från sidan, vilket medför att intilliggande vegetation kan komma att hamna i bakgrunden. Detta skulle kunna göra det svårare att avläsa eventuella fel på kontaktledningarna. Högre krav på kamerautrustning kan då behövas.

Potentialen att använda drönarteknik vid inspektion av kontaktledning visade sig främst bero på flyghastighet, detaljgrad på bilder samt utrustning vid flygning. Konkret kan sägas att högre flyghastighet ställer högre krav på utrustningen för att få detaljerade bilder, och i praktiken innebär detta ofta att utrustningen blir tyngre. Tyngre utrustning ställer högre krav på lyftförmågan hos bäraren. Helikoptrar alternativt mätvagnar kan vara bättre tillämpade när besiktningar ska ta plats med högre hastigheter, eftersom de kan ha en bättre bärförmåga. Högre krav på utrustning med många kameror kan också antas förbruka mer energi. Drönare som i många fall antas ha mindre inbyggda batterier kan därmed antas ha svårt att hantera sådan utrustning. Detta arbete har dock inte analyserat helikoptrar och mätvagnar mer ingående, och kan därav inte fastställa deras fulla potential.

En annan begränsande faktor när det kommer till drönarteknik för kontaktledning är att flera av de fel som idag upptäcks åtgärdas på plats. Om drönare används för feldetektering skulle alltså ett ytterligare arbetsmoment behöva genomföras för att åtgärda felet. För att noggrannare bedöma potentialen av drönarteknik för kontaktledning blir det därmed viktigt att analysera hur stor andel av dagens fel som åtgärdas på plats.

5.2 Faktorer som kan påverka en implementering av drönarteknik

För att en implementering ska vara möjlig måste de kontrakt som styr ansvariga entreprenörer för basunderhåll och besiktning tillåta det. I dagens läge begränsar istället de strikta kontrakten många gånger entreprenörerna att själva testa och använda ny teknik för att försöka effektivisera sitt arbete.

Kontrakten verkar till stora delar vara satta till fasta priser för besiktningsverksamheten. De två kontrakten som presenterades i resultatet, basunderhåll i områdena *Mälarsebanan*, samt *Malmö och sydöstra Skåne*, tillsammans med vissa intervjuer indikerade detta. Enligt teorin skulle detta göra Trafikverket mer villig att använda nya arbetssätt. Detta kan även ge entreprenörerna vissa incitament till att försöka effektivisera sin verksamhet. När entreprenörer på grund av fast pris tar den största ekonomiska risken, kan de även i teorin få en ekonomisk vinst ifall de lyckas dra ner kostnader eller arbetstid kopplat till de olika arbetsmomenten.

För att tekniken ska kunna implementeras och godkännas att användas i kontrakten, måste man först kunna påvisa att den fungerar. För att kunna påvisa något sådant, måste först tekniken kunna testas. I dagens läge är regelverket till stora delar baserat på det statiska regelverk som Trafikverket har, en faktor som i stor uträkning påverkar en implementering. Resultatet visar att för att pröva tekniken skarpt, först måste finnas möjlighet att göra undantag i enstaka kontrakt och tillåta användningen av drönarteknik i begränsad skala. Att ta steget från att inte använda drönarteknik, till att implementera det i samtliga kontrakt samtidigt, anses i nuläget vara för stort.

För att tillåta en implementering måste Trafikverket komma ifrån sitt statiska regelverk. Enligt resultatet bör Trafikverket göra detta genom olika metoder som ska kunna skapa ett mer dynamiskt regelverk. Innovationsupphandlingar och kontrakten Samverkan Hög nivå samt Samverkan basnivå kan vara exempel på sådana tillvägagångssätt. Åtminstone ger det indikationer på att Trafikverket arbetar med förändring, vilket är positivt för ny teknik som drönarteknik. Sådana kontrakt har efterfrågats av entreprenörerna, och förhoppningen är att drönartekniken ska kunna testas inom en sådan form. Dessa kontraktsformer verkar i dagens läge vara resurskrävande, och främst gjorda för upphandlingar av komplexa projekt. Det kan då indikera på att Trafikverket måste lägga större resurser, och att det därmed inte är den effektivaste metodiken att använda för att främja innovation. Detta arbete har dessvärre inte analyserat utfallet av dessa kontrakt mer noggrant och kan därav inte säga hur stor påverkan de kan komma att ha.

Resultatet visar på att Trafikverket som en organisation, generellt har en dålig förmåga att implementera innovationer. Detta verkar negativt mot en framtida implementation av drönarteknik, och anledningarna kan vara flera. Först och främst är Trafikverket en stor och komplex organisation. De uppfattas även vara en trögt gående organisation som från entreprenörernas perspektiv vanligtvis inte är öppna för nya idéer. Detta verkar ofta vara fallet för många stora myndigheter eller företag, där större storlek kan leda till sämre förändringsförmåga. En enskild anställd kan inte adoptera en ny teknik förrän hela organisationen gjort det först. Beslutet måste därmed passera många led inom Trafikverket, vilket försvårar beslutsprocessen. Då Trafikverket även tycks vara en organisation med hög komplexitet, där de anställda har en hög nivå av kunskap och expertis försvårar det arbetet med att de anställda ska komma överens kring hur en implementation ska kunna ta plats.

Trafikverkets organisationsstruktur, som uppfattas likt en stuprörsorganisation, tycks även ha en negativ inverkan för en framtida implementation av drönarteknik. Då ett godkännande av drönartekniken påverkar många delar av Trafikverkets organisation, så måste samtliga av dessa delar av Trafikverket gemensamt godkänna en implementation. Likt hur en anställd inte kan adoptera en ny teknik förrän hela organisationen gjort det först, så kan inte heller en enskild avdelning göra detta.

För att arbeta sig bort från de begränsningar en stuprörsorganisation ger upphov till, så finns det ett behov av en eller flera innovationshjältar. Det behövs alltså personer som har en god förmåga att styra och övertala andra, för att på så sätt driva igenom en implementation av drönartekniken. Detta tycks ha varit en av nyckelfaktorerna till att förvaltare av järnväg i Nederländerna lyckades implementera tekniken. Om Trafikverket har en förmåga att skapa sådana innovationshjältar inom organisationen är osäkert. Enligt entreprenörer verkar det ännu inte finnas några tecken på att det finns innovationshjältar på Trafikverket för drönartekniken. I och med Trafikverkets organisationsstruktur, kan man säga att det finns vissa särskilda krav på hur en framgångsrik innovationshjärte ska se ut. Dessa är främst förknippade med att personen i fråga måste ha kontakter, makt eller förmågan att övertyga samtliga avdelningar som har en inverkan på implementation av drönarteknik. Om en avdelning är emot ett förändrat arbetssätt, kan det hindra en implementering även om resterande avdelningar är överens och övertygade.

Problematiken kring skyddsobjekt och spridningstillstånd av bilder kan först tyckas vara komplicerad. Det är strikta regler förknippade med detta och det kan ibland råda osäkerheter för drönarpiloten kopplat till vad som är och inte är skyddsobjekt. Om man sedan vill sprida en bild tagen av en drönare måste därav ett spridningstillstånd sökas via Lantmäteriet, med vissa undantag. Detta hade därmed kunnat begränsa implementeringen av drönartekniken, då processen att ta och sprida bilder är svår. Resultatet visar däremot att detta inte är något större hinder. Om en extern drönarpilot tar bilder för en kunds räkning, är det ofta kunden som äger anläggningen. Då upplevs det inte som ett problem att sprida de bilderna till den specifika kunden. Om det dessutom skulle vara entreprenörerna själva som utför besiktningen med hjälp av drönare, behövs bilderna inte sprids utanför företaget. I dessa fall behövs inte spridningstillstånd sökas.

Som tidigare diskuterats är AI en viktig del i implementationen av drönarteknik. På grund av detta kan då utbudet av sådana AI-program påverka en framtida implementation. Ifall det internationellt finns färdigutvecklade program som med kortare inlärningstid kan identifiera brister i det svenska järnvägsnätet, kan drönartekniken snabbare implementeras som ett välfungerande verktyg. I dagens läge finns det vissa AI-program som kan tillämpas, vilket har framförts i resultatet. Dessvärre

har inte arbetet undersökt mer djupgående vilka företag som erbjuder sådana produkter och hur produkterna kan tillämpas i Sverige.

5.2.1 Diffusion of innovations

Nedan presenteras en diskussion av drönartekniken, baserad på teorin från Rogers (2003) som tidigare i kapitel 2.3 presenterats.

Resultatet visar på att det finns flera faktiska fördelar med drönarteknik, från tidsbesparingar till minskat behov av personal. Flera av intervjupersonerna har även talat i mycket positiva termer angående drönarteknik, och är väl medvetna av dess faktiska fördelar. Den positiva uppfattningen av tekniken indikerar på att utöver de faktiska fördelarna även finns starka relativa fördelar. Relativa fördelar handlar om hur tekniken uppfattas som bättre än alternativ teknik (Rogers, 2003). Med andra ord så verkar många inom branschen uppfatta drönarteknik som bättre än det befintliga arbetssätt som används inom järnvägsunderhåll.

Frågan kring hur drönartekniken är kompatibel med nuvarande värderingar, tidigare erfarenheter, samt behovet av de som kommer använda tekniken är svår att bedöma. Järnvägsbranschen kan anses vara statisk, där det är svårt att ändra på arbetssätt och regelverk. I den aspekten är tekniken inte kompatibel med nuvarande värderingar. Tidigare erfarenheter från verksamma personer, borde däremot kunna uppvisa ett behov av vad drönartekniken kan medföra. Intervjupersoner i detta arbete har samtliga varit medvetna om problematiken av att utföra besiktningar kopplat till säkerhet och att stänga av spår. På så sätt kan tekniken anses vara mer kompatibel.

Själva drönartekniken och vad den gör är lättare att förstå sig på. Det kan bland annat anses vara lätt att förstå och se hur en drönare kan flyga vid en inspektion. Tekniken omkring drönaren kan däremot anses vara mer komplex att förstå sig på. Till exempel kan det gälla utrustning som drönaren använder sig av för att mäta och filma järnvägsselement eller AI-program som eventuellt används för att analysera materialet.

Möjligheterna att testa och använda drönare kan sägas vara relativt goda. Det går att i begränsad utsträckning testa tekniken, även om det inte är tillåtet att

göra det skarpt vid besiktningar. Regelverket kopplat till att flyga drönare kan dock begränsa användandet i vissa bemärkelser. Bland annat måste tillstånd till flygning i vissa fall ansökas om, till exempel när drönaren är utom synhåll. Resultatet uppger här att sådana tillstånd kan vara förhållandevis lätta att få, om man har tidigare erfarenheter av drönarflygning.

Det är lätt att observera en drönare och se när den flyger. Att sedan dela med sig av resultatet av användandet kan även anses vara lätt, så länge operatören tillåter det och spridningstillståndet inte hindrar det. På så sätt kan en operatör ifall viljan finns, dela med sig av det material som tagits och de analyser som gjorts till övriga aktörer i branschen.

Sammanfattningsvis, utifrån de fem område som analyserats från Rogers (2003), så finns det en viss potential för tekniken. Drönare har flera relativa fördelar jämfört med nuvarande arbetssätt. Den kan också anses vara kompatibel, även om regelverk och synsätt på nya idéer i vissa fall kan vara begränsande. Den fysiska drönaren kan också sägas vara enkel att förstå sig på, även om viss bakomliggande teknik kan vara mycket komplex. Möjligheterna av att testa tekniken bedöms även finnas, dock i begränsad form. Slutligen kan drönarens observerbarhet sägas vara förhållandevis hög. Sammantaget kan man alltså säga att möjligheterna att implementera drönare finns. Vissa aspekter som regelverk är dock begränsande, vilket försämrar hastigheten för en implementation.

5.3 Konsekvenser av att implementera drönarteknik

Resultatet visar på att drönartekniken kan ge upphov till tidsbesparingar, ett lägre behov av personal, samt ett mindre behov av att stänga av spår. Detta är faktorer som talar för att implementera drönarteknik i större uträkning vid järnvägsunderhåll. Enligt undersökningar ligger tidsbesparingarna kring ca 60–80 %. Skillnaderna kan bero på att metoderna för undersökningarna skiljer sig åt, samt att kalibreringstiden för drönarna inte alltid är inkluderad. Trots att siffrorna skiljer sig åt ger det en indikation på att drönartekniken faktiskt kan medföra betydande tidsbesparingar för inspektioner. Ett minskat behov av avstängda spår skulle även kunna medföra minskade trafikstörningar och därmed bättre punktlighet för tågen.

En viktig aspekt i sammanhanget är dock att flera av de undersökningar som analyserat konsekvenserna av att implementera drönarteknik vid järnvägsunderhåll har varit begränsade i dess utformning. Grimstorpstudien utfördes till exempel endast under en dag, och analyserade främst hur drönartekniken kan implementeras. Studien fokuserade inte på att i större uträkning kvantifiera konsekvenserna av implementationen, något som hade kunnat kräva flera undersökningss dagar. Det kan därmed antas att tidsbesparingarna av att implementera drönarteknik kan vara lägre än vad som uppskattats.

Detta arbete har inte kunnat hitta ett större antal noggrant genomförda undersökningar kopplat till konsekvenser av att implementera drönarteknik vid järnvägsunderhåll. Speciellt när det kommer till implementering för växelvärmare, bana och kontaktledning. Anledningen tros bero på att drönarteknikens implementation vid järnvägsunderhåll ännu är begränsad, särskilt i Sverige. Begränsat forskningsunderlag har i vissa fall gjort det svårt att förstå och främst kvantifiera konsekvenserna av att implementera drönarteknik. Det är en av orsakerna till att tidsbesparingar för endast växelvärmare analyserats, och inte tidsbesparingar för kontaktledning eller bana. För att jämföra och verifiera vissa resultat inkluderades studier om bland annat broar, något som kanske inte är helt representativt för järnväg som helhet.

Vad de ekonomiska konsekvenserna hade blivit av en implementation av drönartekniken är svårt att fastställa. Först hade initiala investeringar behövt göras för en implementation. Dessa investeringar hade bland annat kretsat kring utbildning av personal för att de ska kunna flyga och besiktiga järnväg. Inköp av teknik hade sedan tillkommit, såsom själva drönaren och dess utrustning, samt eventuellt inköp av olika AI-program. Desto mer avancerad denna teknik hade behövt vara, desto dyrare kan den förmodas bli. Då initiala investeringar och tillkommande kostnader kan skiljas sig åt blir det svårt att ge en generell ekonomisk överblick. Användningen av drönare kan dock ge upphov till kostnadsbesparingar i form av att den kan tillåta snabbare besiktningar med ett lägre behov av personal. Vad dessa kostnadsbesparingar blir är också svårt att fastställa. För besiktningar av broar uppskattades besparingen till att vara 80 %. Kostnadsbesparingen för broar behöver dock inte vara motsvarande som för bana, växelvärmare eller kontaktledning.

När man mer noggrant undersöker de specifika kontrakten för basunderhåll, så kan man se att besiktningsverksamheten upptar en mindre del av de totala kontraktssummorna för basunderhåll. För de två exemplen som togs upp i detta arbete var denna del 8,3 % för *Mälardalen* och 5,2 % för *Malmö och sydöstra Skåne*. Här kan man däremot anta att en betydande del av den befintliga besiktningsverksamheten inte går att substituera med drönare, såsom resultat visar. Dessutom kan man anta att kostnadsbesparingarna är lägre än de 80 % som var fallet för besiktningar av broar. I så fall kan de ekonomiska konsekvenserna av en implementation av drönartekniken inom dessa kontrakt för basunderhåll anses ha en liten påverkan på kontraktens sammanslagna kostnader. Därav tyder det på att den ekonomiska vinningen inte är det största argumentet för att en implementation ska ta plats.

Drönartekniken kan ge upphov till en bättre arbetsmiljö för den personal som utför besiktningar. Först och främst möjliggör användandet av tekniken till att personalen inte behöver vistas på järnvägsspåren. Ett arbete på ett sådant sätt kan därmed minska risken för olyckor, såsom påkörningar. Resultatet visar på att det är en av de viktigaste konsekvenserna som användandet av tekniken hade kunnat medföra. På grund av att behovet av att utföra besiktningsverksamheten inte kräver att spår stängs av från trafik, så leder det också till att besiktningsverksamheten istället kan ta plats på dagtid i större utsträckning. Dessutom kan detta medföra en säkrare arbetsmiljö, men även en mer bekväm sådan där personal inte behöver arbeta nattetid i samma utsträckning.

6 Slutsats

I detta kapitel sammanfattas de slutsatser examensarbetet kommit fram till.

Syftet med detta examensarbete har varit att analysera hur drönarteknik kan implementeras vid järnvägsunderhåll i Sverige, begränsningar för en kommande implementering, samt vad konsekvenserna av en sådan implementering skulle bli. Målet har varit att analysera om drönarteknik kan leda till en effektivare järnvägsunderhållning.

När det kommer till en generell implementering av drönarteknik vid järnvägsunderhåll visar resultatet att det finns en viss potential. Drönartekniken lämpar sig till exempel väl för att snabbt göra överskådningar av omgivningar och analysera infrastruktur. Den kan dock vara begränsad efter hur lång järnvägssträcka som ska undersökas.

Användning av drönarteknik för inspektion av växelvärmare visar sig vara användbart i de fall där endast funktionen av växelvärmarna skall kontrolleras. I de fall okulära besiktningar skall genomföras lämpar sig drönartekniken mindre bra att använda.

För inspektion och besiktning av kontaktledning bedöms potentialen bero på situationen som drönartekniken önskas användas. På grund av att en kontaktledning och dess ingående komponenter ofta är på svårtillgängliga platser tycks tekniken lämpa sig bra. Dessvärre kan kameror ha svårt att få fokus på en kontaktlednings små detaljer. Potentialen tycks bero på flyghastighet, krav på detaljbilder på komponenter, samt kamerautrustning.

Resultatet visar att potentialen att använda drönarteknik för inspektion av bana, där bland annat slipers och befästningar ingår, inte är självklar. Potentialen tycks bero på AI-programmens förmåga att upptäcka fel. Om ett AI-program med en väldigt god förmåga att upptäcka fel används tillsammans med drönaren, blir slutsatsen att potentialen för drönarteknik är hög.

Resultatet visar sedan på vissa begränsningar vid en kommande implementering, främst kopplat till kontraktsutformning, regelverk, Trafikverkets organisation och deras förmåga att implementera ny teknik. Dagens basunderhållskontrakt som styr entreprenörernas arbete vid järnvägsunderhåll ger ett litet utrymme för att testa och implementera ny teknik. Dessa kontrakt är hårt påverkade av det regelverk som styr underhållsarbetet nationellt. Dessutom är stora delar av dagens regelverk statiskt, och har svårt att anpassas för ny teknik. Trafikverket saknar ett system och en metodik för att kunna skapa och bygga upp ett mer dynamiskt regelverk.

Trafikverket som en organisation och förvaltare har uppvisat sig ha en sämre förmåga att implementera och använda sig utav ny teknik såsom drönarteknik för järnvägsunderhåll. Anledningarna tycks delvis bero på dess komplexa organisationsstruktur. Trafikverket beskrevs här som en stuprörsorganisation, där en implementation behövde godkännas av många olika avdelningar, en process som av entreprenörer uppfattades långsam och svår.

En av konsekvenserna av att implementera drönarteknik är att ett mindre antal besiktningar behöver ta plats manuellt i spår. Detta hade inte bara gett en bättre arbetsmiljö eftersom personalen slipper ta risker att beträda spåren. Det hade även inneburit att besiktningarna potentiellt hade kunnat ta plats samtidigt som tågtrafiken varit igång, och därmed hade behovet av att stänga av spår för underhåll minskat.

En implementering av drönartekniken hade potentiellt även kunnat ge effektiviseringar kopplat till arbete och kostnader. I de undersökningar som gjorts, indikerar tekniken på att den kan leda till minskat personalbehov, snabbare besiktningar och dessutom med lägre kostnader. Emellertid har tekniken inte kunnat användas skarpt inom det svenska järnvägsunderhållet, och det råder därmed osäkerheter kring exakta siffror på vad en implementation hade inneburit.

Sammanfattningsvis visar resultatet på att drönartekniken har en viss potential att implementeras inom järnvägsunderhåll. Begränsande faktorer för en implementering är främst kopplade till regelverk, kontraktsutformning, samt Trafikverket som organisation. Konsekvenserna

av en implementering är svåra att kvantifiera men indikerar på att drönartekniken kan leda till bland annat tids- och kostnadsbesparingar.

7 Examensarbetets relevans

Detta kapitel kretsar kring detta examensarbets relevans för forskning och järnvägsbranschen.

Detta examensarbets förhoppning har varit att ge exempel på de fördelar och nackdelar drönartekniken kan möjliggöra för järnvägsbranschen. Då tidigare forskning i Sverige inom området anses begränsad, kan därmed arbetet vara relevant. Det forskningsunderlag som används i detta arbete har tagits fram genom intervjuer med sakkunniga inom branschen och ett begränsat antal undersökningar. Även om nackdelar med drönarteknik kommit fram och presenterats i intervjuer, källor och därav detta examensarbete har många källor varit positiva till drönarteknik. Det har bidragit till att resultatet gett en fördelaktig bild utav tekniken. För att få en sann helhetsbild hade det därav varit intressant att hitta personer inom branschen som hade en mer negativ bild utav drönarteknik och dess potential till implementation.

Examensarbetet anses vara relevant för de företag som överväger att satsa på drönarteknik för underhåll av infrastruktur, i synnerhet järnväg. Anledningen är att arbetet kretsar kring och gett en överblick i både vilka möjligheter och utmaningar som finns. Genom att vara medveten om dessa möjligheter kan företag lättare se anledningar till att implementera tekniken. Om dessutom företag överväger en implementation, är förhoppningen att de bättre ska kunna bemöta de utmaningar som finns när implementationen sedan ska ta plats.

Resultatet från arbetet visar på att Trafikverket har en stor inverkan på en framtida implementering av drönarteknik. Förhoppningsvis kan resultatet därmed ge Trafikverket en bättre insikt i detta och öka deras vilja till fortsatt förbättringsarbete i branschen de är verksamma i. Dessutom kan arbetet ge en hänvisning till hur och vad de kan arbeta med inom ett förbättringsarbete.

En begränsning inom arbetet var att inte undersöka tekniken bakom drönare i särskilt stor bemärkelse. Arbetet har till exempel inte undersökt hur utbudet av drönare skiljer sig åt, hur tekniken är konstruerad och vilka sätt man kan anpassa den efter underhållsbesiktning. Begränsningarna kan därmed ge vissa osäkerheter i rapporten kopplat till tillämpningar.

8 Fortsatt arbete

Här förklaras vilka områden som kan vara av intresse att forska vidare kring kopplat till drönarteknik och järnvägsunderhåll.

Ett område som under arbetets gång bedömdes vara svårt att hitta detaljerad och kvantifierad information kring är vilka konsekvenser en implementering av drönartekniken kan medföra. Anledningen tros som tidigare nämnt bero på att drönartekniken ännu inte implementerats i större uträkning, speciellt i Sverige. Framtida undersökningar skulle därför kunna fokusera på att mer specifikt försöka kvantifiera konsekvenser, till exempel tids- och kostnadsbesparingar av drönarteknik. Dessa kommer självfallet skilja sig åt från projekt till projekt, men kan dock underlätta för entreprenörer att uppskatta ifall det är lönsamt att använda drönare.

Resultatet visade också på att ett sätt att bedöma potentialen i användningen av drönarteknik, är att analysera antal inspektioner som görs av korta respektive långa järnvägssträckor. Vad som här är långa respektive korta järnvägssträckor kan anses vara en bedömningsfråga. Andra sätt att bedöma potentialen kan vara att analysera hur stor andel av kontaktledningsfel som åtgärdas direkt på plats eller inte. Dessa nyckeltal har ej undersökts i examensarbetet. Det kan därför vara relevant för framtida undersökningar att ta reda på sådana nyckeltal för bedömning av drönarteknikens potential.

Detta arbete har inte till fullo undersökt resultatet av Trafikverkets nuvarande nya metoder för upphandling av innovation. I framtiden kan det vara intressant att mer djupgående undersöka hur till exempel innovationsupphandlingar tagit plats och vad resultatet har blivit. Dessutom kan det vara intressant att vidare forska kring vilka metoder som Trafikverket ska använda sig av för att skapa ett mer dynamiskt regelverk som efterfrågas av entreprenörer.

9 Referenser

Adams, W. C., 2015. Conducting Semi-Structured Interviews. i: K. E. Newcomer, H. P. Hatry & J. S. Wholey, red. *Handbook of Practical Program Evaluation*. Washington: Jossey-Bass; 4th edition, pp. 492-505.

Aldenlöv, J. o.a., 2020. *Slutrapport, Offentlig upphandling av järnvägsunderhåll*, Borlänge: Trafikverket.

Arup, 2019. *Future of Rail 2050*, London: Arup.

Bankert, N., 2020. Ystad: Drönarbolaget.

Borg, L. & Lind, H., 2016. *Framework for Structuring Procurement Contracts*: Kungliga Tekniska Högskolan.

Bryman, A., 2018. *Samhällsvetenskapliga metoder*. 3 uppl. Stockholm: Liber.

Chan, B., Anstice, D., Pettigrew, T. & Saul, I., 2017. *Photogrammetric modelling and drones for the effective inspection and management of major steel truss bridges: case study*, Melbourne: Austroads Bridge Conference.

Flammini, F., Pragiola, C. & Smarra, G., 2016. *Railway Infrastructure Monitoring by Drones*, Toulouse: IEEE.

Gompel, M. v., 2019. *Dutch Railways inspects train stations with drones*. [Online]
Hämtad från: <https://www.railtech.com/infrastructure/2019/07/11/dutch-railways-inspects-train-stations-with-drones/?gdpr=accept>
[Använd 29 jan. 2021].

Hawzheen, K. & Sandberg, J., 2012. *Implementering av utvecklingsresultat- Brister och möjligheter*, Göteborg: Svevia.

Insider Intelligence, 2021. *Drone technology uses and applications for commercial, industrial and military drones in 2021 and the future*. [Online]
Hämtad från: <https://www.businessinsider.com/drone-technology-uses-applications?r=US&IR=T>
[Använd 27 jan. 2021].

Karlsson, L., 2015. *Handbok Teknik*, Nacka: KMV forum.

Lantmäteriet, 2018. *Information om föreskrifter kopplade till ny lag och förordning om skydd för geografisk information*, Gävle: Lantmäteriet.

Lesiak, P., 2020. *Inspection and Maintenance of Railway Infrastructure with the Use of Unmanned Aerial Vehicles*: Problemy Kolejnictwa.

Network Rail, 2021. *Drones or Unmanned Aircraft Systems (UAS)*.
[Online]
Hämtad från: <https://www.networkrail.co.uk/running-the-railway/looking-after-the-railway/our-fleet-machines-and-vehicles/air-operations/drones-or-unmanned-aircraft-systems-uas/>
[Använd 29 jan. 2021].

Nibe Element Railway Solutions, 2021. *Switch Point Heating Systems*.
[Online]
Hämtad från: <https://www.niberailsolutions.com/products/switch-point-heating-systems.html>
[Använd 8 april. 2021]

Nordic Infracenter, 2020. *Rapport från drönarflygning 2020-05-06*, Internt dokument: Nordic Infracenter.

Persson, J. E. & Westrup, U., 2014. *Gränsöverskridande chefskap. Arbete över organisatoriska gränser i människonära tjänsteverksamheter*. 1a uppl red. Lund: Studentlitteratur AB.

Rogers, E. M., 2003. *Diffusion of Innovations*. 5 red. New York: The Free Press.

Scopito, (2018). Århus: Scopito.

SFS, 2004:519. *Järnvägslag*, Stockholm: Infrastrukturdepartementet.

SFS, 2004:526. *Järnvägsförordning*, Stockholm: Infrastrukturdepartementet.

SFS, 2010:185. *Förordning med instruktion för Trafikverket*, Stockholm: Infrastrukturdepartementet.

Singh, A. K., Swarup, A., Agarwal, A. & Singh, D., 2017. *Vision based rail track extraction and monitoring through drone imagery*: ScienceDirect.

Svenska institutet för standarder (SIS), 2017. *Underhåll – Underhållsterminologi (SS-EN 13306:2017)*, Stockholm: SIS.

SWEDTRAIN, 2021. *Järnvägsbranchen*. [Online]
Hämtad från: <https://www.swedtrain.org/jarnvagsbranschen/>
[Använd 9 feb. 2021].

Trafikanalys, 2016. *Hur beaktar Trafikverket underhåll vid investeringsbeslut?*, Stockholm: Trafikanalys.

Trafikverket, 2014. *Mängdförteckning Malmö och Sydöstra Skåne*, Internt dokument: Trafikverket.

Trafikverket, 2018a. *Samverkan basnivå, TDOK 2015:0021*, Borlänge: Trafikverket.

Trafikverket, 2018b. *Nu ökar innovationsupphandlingar*. [Online]
Hämtad från: <https://www.trafikverket.se/om-oss/nyheter/Nationellt/2018-06/nu-okar-innovationsupphandlingarna/>
[Använd 8 apr. 2021].

Trafikverket, 2018c. *6.4.1 Mängdförteckning KF5*, Internt dokument: Trafikverket.

Trafikverket, 2019. *Kontraktmodell Samverkan Hög nivå, TDOK 2016:0233*, Borlänge: Trafikverket.

Trafikverket, 2020a. *Bandata*. [Online]
Hämtad från: <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/Sveriges-jarnvagsnat/Bandata/>
[Använd 27 jan. 2021].

Trafikverket, 2020b. *Säkerhet vid aktiviteter i spårområdet, TDOK 2016:0289*, Borlänge: Trafikverket.

Trafikverket, 2021a. *Järnvägstermer*. [Online]
Hämtad från: <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/jarnvag/Jarnvagstermer/>
[Använd 9 mars 2021].

Trafikverket, 2021b. *Säkerhetsbesiktning av fasta järnvägsanläggningar, TDOK 2014:0240*, Borlänge: Trafikverket.

Trafikverket, 2021c. *Organisation*. [Online]
Hämtad från: <https://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/Organisation/>
[Använd 4 mars 2021].

Transportstyrelsen, 2020. *Drönare - utbildningsmaterial, Revision: 2020-DEC-04*, Norrköping: Transportstyrelsen.

Transportstyrelsen, 2021. *Drönare*. [Online]
Hämtad från: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/luftfart/Luftfartyg-och-luftvardighet/dronare/>
[Använd 4 feb. 2021].

Utredningen om Framtidens järnvägsunderhåll, 2020. *Framtidens järnvägsunderhåll (SOU 2020:18)*, Stockholm: Infrastrukturdepartementet.

Wargsjö, A., Fridolin, M. & Lundgren, R., 2019. *Nyttiggörande av FoI*, Internt dokument: Trafikverket.

Bilaga A

Beskriver olika arbetsmoment av examensarbetet.

A.1 Arbetsfördelning

Hela arbetet har utförts genom att de två skribenterna träffats och tillsammans intervjuat, läst litteratur och skrivit på arbetet. Arbetsfördelningen har därmed varit jämn, där båda parterna tillsammans arbetat med samtliga delar av examensarbetet.

A.2 Tidplan

Den ursprungliga tidsplanen sattes optimistiskt för att på så sätt ha en marginal för att lösa oförutsägbara problem som skulle kunna visa sig under arbetets gång. Trots att arbetets upplägg delvis förändrades, har den ursprungliga tidsplanen mer eller mindre kunnat följas någorlunda. Båda tidsplaner anges i *figur A1* och *A2*.



Figur A1 Projektets tidsplan



Figur A2 Faktiskt utfall av tidsplan

A.3 Beslutsprocess

Från början var tanken att examensarbetet skulle vara uppdelat efter tre områden; Nulägesanalys, Implementering och Konsekvenser. De tre områdena återges bland annat i projektplanen. En tidsplan strukturerades därefter utifrån dessa områden, vilket kan ses i *figur A.1*. I efterhand när examensarbetets skrevs var bedömningen dock att det var mer relevant att omdefiniera de tre områdena efter; Implementation, Begränsning av implementation och Konsekvenser. Tre huvudfrågeställningar definierades därefter efter dessa tre områden. Den tidigare nämnda nulägesanalysen blev istället en del av rubriken Implementation. Den verkliga tidsplanen som kan ses i *figur A.2*, blev därför något annorlunda jämfört med den ursprungliga tidsplanen.

Inför insamling av data fanns osäkerheter kring i vilket omfattning information behövde samlas från olika intervjuer, för att på så sätt få en sann helhetsbild. Under arbetets gång insågs dock att många av intervjuerna gav samma eller liknande information. När detta inträffade och ny information var svår att tillhandahålla beslutades att tillräcklig information hade insamlats för att kunna besvara frågeställningen. Eventuella osäkerheter kring resultatet togs senare upp i diskussionen.

Bilaga B Intervjupersoner och intervjufrågor

Här anges vilka personer som intervjuats under examensarbetets gång, samt de frågor som ställts till respektive person.

Intervju 1: Projektledare inom utveckling på Trafikverket. Intervjun genomfördes via telefon 2021-02-04.

Skulle du kunna förklara lite vad du jobbar med? Och hur drönare har kommit in i detta?

Enligt dig, hur bra är branschen generellt på att implementera ny teknik inom järnvägsunderhåll? (I synnerhet Trafikverket)

Hur jobbar Trafikverket med drönare kopplat till järnvägsunderhåll?

Hur ser incitamenten ut för de som sitter på kontrakten när det kommer till att ej stänga av räls?

Vad är det största hindren mot en implementation av drönarteknik?

Vad har konsekvenserna varit av att implementera drönare?

Med tanke på att du redan handlett ett examensarbete inom ämnet, har du några generella tips på tillvägagångssätt?

Intervju 2: Arbetschef på ett anläggningsföretag inom järnväg. Intervjun genomförd via mejl 2021-02-08.

Vad är er generella syn på att använda drönarteknik för järnvägsunderhåll?

Hur bra skulle du säga att ert företag är, respektive branschen järnväg i sin helhet, på att implementera ny teknik?

Varför har ni inte tillämpat drönarteknik?

Beskriv mer ingående ert framtida tillämpningsområde för drönarteknik.

Vad är anledningen till att ni överväger att använda det i framtiden?

Intervju 3: Affärsutvecklare på ett bolag inom järnvägsunderhåll. Intervjun genomfördes via videosamtal 2021-02-12.

Skulle du kunna förklara lite vad du jobbar med? Och hur drönare kommit in i detta?

Vad är er generella syn på att använda drönarteknik för järnvägsunderhåll?

Hur bra skulle du säga att ert företag är, respektive branschen järnväg i sin helhet, på att implementera ny teknik?

Hur använder ni drönarteknik för järnvägsunderhåll?

Vad har resultaten blivit av att implementera drönarteknik?

Om ni ser förbättringar/försämringar, går det att kvantifiera dessa?

Hur ser ersättningarna ut för kontrakten?

Vad anser ni är de största hindrena och riskerna är för en vidare implementation av drönarteknik?

Vad tror du är det enklaste sättet är för att öka möjligheterna att testa ny teknik via Trafikverket?

Vad tror du om framtiden för drönare?

Intervju 4: Drönarpilot som sedan tidigare gjort flygningar inom järnväg. Intervjun genomfördes via videosamtal 2021-02-16.

Skulle du kunna förklara lite vad du jobbar med? Och hur järnvägsunderhåll kommit in i detta?

Vad är er generella syn på att använda drönarteknik för järnvägsunderhåll?

Hur använder ni drönarteknik för järnvägsunderhåll?

Vad har resultaten blivit av att implementera drönarteknik?

Vad är driftkostnaderna i allmänhet för drönare?

Har det nya regelverket försvårat för er?

Vad finns det för utmaningar kopplat till integritet och drönare inom järnvägsunderhåll?

Vad är enligt dig de största drivkrafterna/fördelarna för en vidare implementation?

Vad är enligt dig de största hindren för en vidare implementation?

Hur ska man få Trafikverket att ändra implementeringen av drönartekniken för järnvägsunderhåll?

Hur bra är järnvägsbranschen generellt på att implementera ny teknik?

Intervju 5: Projektledare inom underhåll på Trafikverket. Intervjun genomfördes via videosamtal 2021-02-19.

Skulle du kunna förklara lite vad du jobbar med? Och hur drönare kommit in i detta?

Vad är er generella syn på att använda drönarteknik för järnvägsunderhåll?

Hur bra skulle du säga att ert Trafikverket är, respektive branschen järnväg i sin helhet, på att implementera ny teknik?

Hur möjliggör ni för järnvägsentreprenörer att använda ny teknik och innovation?

Kan du förklara lite kring kontraktsmodellen Samverkan Hög?

Hur ser incitamenten ut för de som sitter på underhållskontrakten att använda ny teknik?

Om vi specificerar det lite mer mot drönare, hur jobbar Trafikverket med drönare kopplat till järnvägsunderhåll?

Berätta mer specifikt angående undersökning av växelvärmare, kontaktledning och bana.

Vad har konsekvenserna blivit av att

a drönarteknik, specifik för växelvärmare, kontaktledning eller bana?

Om ni ser förbättringar/försämringar, går det att kvantifiera dessa?

Har resultaten blivit som förväntat?

Vem tycker ni/tror ni är det som driver implementationen av drönarteknik?

Vad anser ni är de största hindren för en vidare implementation av drönarteknik?

Vad är de största riskerna?

Är tekniken tillräckligt bra?

Vad tror du generellt om framtiden för drönare inom järnvägsunderhåll? Ser du en potential?

Det står i TDOK att tex låsanordningar är intakta, kapslingar är oskadade kabelskydd mm ska kontrolleras två gånger per år, vilket vi tolkar som en mer okulär besiktning. Andra källor har dock sagt okulära besiktningar endast främst görs inför vintersäsong. Vad är tolkningen?

Intervju 6: Nationell besiktningssamordnare på Trafikverket. Intervjun genomfördes via videosamtal 2021-02-23.

Skulle du kunna förklara lite vad du jobbar med?

Hur bra skulle du säga att Trafikverket är, respektive branschen järnväg i sin helhet, på att implementera ny teknik?

Hur möjliggör ni för järnvägsentreprenörer att använda ny teknik/innovation?

Hur ser entreprenörernas incitamentsmodeller ut för att exempelvis göra sitt arbete snabbare/bättre/inte stänga av spår och så vidare?

Hur ser ersättningsstrukturen ut för besiktningsverksamheten?

Hur bra fungerar besiktningsverksamheten/underhållet av bana idag?

Vad är din generella syn på att använda drönarteknik för järnvägsunderhåll?

Har ni använt drönarteknik för järnvägsunderhåll inom er verksamhet?

Vad anser ni är de största hindren för en vidare implementation av drönarteknik?

Vad anser ni är de största riskerna vid en vidare implementation av drönarteknik?

Vad tror du generellt om framtiden för drönare inom järnvägsunderhåll?

Intervju 7: Säljchef på ett dataföretag med produkter inom underhåll på infrastruktur. Intervjun genomfördes via videosamtal 2021-02-24.

Could you explain a little about what you work with, and what your company works with?

Could you explain your products that use drones for railway maintenance?

In which areas of railway maintenance have you mainly used drones?

What is it that limits the use of drone technology for railway maintenance in general?

Intervju 8: Specialist inom elkraft på Trafikverket och beställare av besiktningsflygningar. Intervjun genomfördes via videosamtal 2021-03-15.

Skulle du kunna förklara lite vad du jobbar med?

Hur arbetar ni med drönarteknik och övriga flygtjänster idag?

Vad har resultatet blivit av att använda drönare?

Hur påverkar spridningstillstånd av bilder er?

Intervju 9: Projektledare som arbetar på ett företag inom inspektioner av kraftledningar med hjälp av olika flygtjänster. Intervjun genomfördes via videosamtal 2021-03-15.

Skulle du kunna förklara lite vad du jobbar med?

Hur har resultatet blivit av att använda drönare för besiktningsverksamheten?

Har resultaten blivit som förväntat?

Från tidigare intervjuer har vi fått en indikation på att en avvägning måste göras mellan hur snabbt man vill göra en överflygning och hur detaljerad den ska vara. Vad är din åsikt kring detta?

Hur påverkar spridningstillstånd av bilder er?

Finns det några miljöaspekter kopplat till drönare?

Intervju 10: Expert inom underhåll och arbetar för den nederländska förvaltaren av järnväg. Intervjun genomfördes via videosamtal 2021-03-25.

Could you explain a little about what you work with, and what your company works with?

How do you use, and at what extent do you use drones for railway maintenance?

Do you use any Ai-program / software program with your drones?

What were the driving forces for an implementation?

How did the implementation happen?

In Sweden we see a very limited implementation of drones within railway, why do you think the Netherlands might be better at implementing drones?

What have the results been of implementing drones?

Do you have any quantifications of the results?

What are the limits of using drone technology for railway maintenance in general?