UPTEC STS 21021

Examensarbete 30 hp

Maj 2021

UPPSALA UNIVERSITET

Artificiell intelligens för att uppnå strategiska mål inom järnvägsbranschen

Potential och utmaningar vid implementering av artificiell intelligens i Stockholms pendeltågstrafik

Alma Bäckman och Kajsa Lindfors

Civilingenjörsprogrammet i system i teknik och samhälle

UPPSALA UNIVERSITET

Artificial intelligence to achieve strategic goals in the railway industry

Alma Bäckman och Kajsa Lindfors

Abstract

Well-functioning and competitive transport systems are of great importance for Sweden's economic growth. The railway system has a central role in this matter. Furthermore, the Swedish railway system plays an important part in achieving international and national goals, such as Agenda 2030 and the Swedish transport policy goals. The railway industry is currently being digitized to a further extent. The railway is becoming increasingly connected and data is generated and collected continuously. This study aims to explore the potential of artificial intelligence (AI), with a focus on machine learning and optimization, on the Swedish railway system, to achieve strategic goals. The focus is mainly on sustainability and economic aspects. Potential challenges and how to overcome them are also studied. To achieve the purpose of the study a case study of Stockholm's commuter rail has been used.

To explore the aim, a literature study together with interviews has been conducted. The literature study consists of a background explanation of the railway industry and Stockholm's commuter rail, as well as how AI applications can be implemented. The interviews have been held with key players in the Stockholm commuter rail industry, along with experts and scientists. These have given valuable information regarding their thoughts on the potential of AI in the railway industry.

The result shows that AI has the potential to improve maintenance and traffic management and thereby create a more attractive and efficient operation of the Stockholm commuter rail industry. Further, this may lead to achieving strategic goals: international, national and commuter rail related goals. Due to the limitation of this thesis, it is difficult to draw conclusions based on the results regarding specific methods and algorithms that would be best suited for applications in the railway. Several challenges were identified for using AI to achieve strategic goals. To overcome these challenges, a combination of various actions is needed. Based on the results it is clarified that the industry is permeated of willpower, but that sufficient investments and initiatives are still largely lacking to overcome the challenges that exist in Stockholm's commuter rail traffic.

Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten

Uppsala universitet, Utgivningsort Uppsala/Visby

Handledare: Johan Warenlöv och Malin Jakobsson Ämnesgranskare: Anders Arweström Jansson

Examinator: Elísabet Andrésdótter

Populärvetenskaplig sammanfattning

Ett välfungerande och konkurrenskraftigt transportsystem spelar en viktig roll för Sveriges tillväxt. Järnvägen har en central roll inom Sveriges transportsystem och därmed även för Sveriges ekonomiska framtid. Vidare har Sveriges järnväg en betydande roll för att uppnå internationella och nationella mål, såsom Agenda 2030 och Sveriges transportpolitiska mål. För att uppnå strategiska mål, både finansiella och hållbarhetsmässiga, behöver järnvägsbranschen optimeras och effektiviseras.

Artificiell intelligens (AI) transformerar världen i hög takt och även om vi inte tänker på det påverkas våra liv i hög grad av tekniken. Det går att ställa frågan - Vad är egentligen AI? Detta är för många ett mysterium och det finns en generell bild av att AI är robotar som beter sig som människor. Även om detta är en del av AI-området ger denna förklaring inte hela bilden av vad AI innebär. AI är ett brett område inom datavetenskapen som innehåller flera olika metoder, synsätt och tekniker som illustrerar intelligent beteende genom att analysera omgivningen. AI kan användas för att skapa underlag i olika beslutsprocesser och upptäcka mönster eller fel baserat på data.

I flera länder har AI-teknik implementerats inom järnvägen, med positiva resultat. I Hong Kong används AI för att planera och optimera nattliga ingenjörsjobb på järnvägsspåren. Panama använder sig av AI-lösningar för att prediktera framtida passagerarflöden på tåg och stationer. I Sverige används inte AI inom järnvägsbranschen i större skala. Utifrån forskning och vad som genomförts internationellt blir potentialen tydlig och det går att ifrågasätta varför utvecklingen i Sverige inte har kommit lika långt.

Syftet med denna studie är att utreda vilken potential AI-metoder har i den svenska järnvägsbranschen för att uppnå strategiska mål, med fokus på hållbarhetsmässiga och finansiella aspekter. Vidare undersöks vilka utmaningar som finns och vad som krävs för att kunna ta steget in i en mer digitaliserad järnväg. Mer specifikt undersöks hur AI kan implementeras i Stockholms pendeltågstrafik inom områdena underhåll och trafikledning. För att undersöka syftet har en litteraturstudie genomförts i två delar: en bakgrund om järnvägsbranschen och en ämnesteoretisk bakgrund om AI inom järnvägsbranschen. Dessutom har ett teoretiskt ramverk skapats i form av en analysmodell. Denna modell beskriver de steg som aktörer behöver gå igenom för att möjliggöra en lyckad implementering av AI, enligt forskning. Empirisk datainsamling har genomförts via intervjuer med centrala aktörer inom Stockholms pendeltågstrafik, tillsammans med experter och forskare. Dessa har bidragit med värdefull information angående tankar kring en potentiell implementering av AI inom järnvägen.

Den första frågeställningen redogör för potentialen som finns inom AI för att uppnå strategiska mål inom järnvägsbranschen. Resultatet visar att AI kan användas som ett medel för att uppnå strategiska mål inom Stockholms pendeltågstrafik. Specifikt identifieras flera områden inom underhåll och trafikledning där AI-implementering bidrar till en mer attraktiv och effektiv verksamhet för aktörer inom pendeltågstrafiken. Det är utifrån resultatet svårt att dra några slutsatser kring vilka metoder som är bäst lämpade för

användning inom järnvägen. Det finns däremot indikationer på att artificiella neurala nätverk (ANN) och ensemblemodeller kan vara användbara.

Frågeställning två behandlar de utmaningar som kan uppstå vid AI-implementering inom järnvägsbranschen. Utifrån resultatet och respondenternas svar identifierades sex utmaningar: *datakvalitet, kunskap och kapacitet, datatillgång och sekretess, ej ändamålsenlig organisering av verksamhet och data, gammalmodig och trög bransch* samt *digitaliseringsstrategi inom branschen.* De första fyra utmaningarna som presenteras här finner stöd i forskningen.

I den tredje frågeställningen redovisas det vad som krävs för att överkomma utmaningarna. Utifrån studiens resultat framkommer flera konkreta förslag på vad som kan vara nödvändigt: *förbättrad datahantering, ökad samverkan, ökad kompetens* samt att *tydliggöra och förändring av regelverk och säkerhetsaspekter*. Resultatet tydliggör att det finns en vilja inom branschen att använda AI, men att det fortfarande krävs satsningar och initiativ för att överkomma de utmaningar som finns.

FÖRORD

Detta examensarbete markerar slutpunkten på civilingenjörsprogrammet i system i teknik och samhälle. Arbetet har skrivits för PA Consulting.

Vi vill rikta ett stort tack till alla som har varit engagerade och hjälpt oss i vårt arbete. Först och främst vill vi tacka våra handledare på PA Consulting, Johan Warenlöv och Malin Jakobsson, som varit ett stort stöd under arbetets gång. Vi vill även tacka Marie Amann på PA Consulting som kontinuerligt har kommit med många värdefulla tips kring skrivandet av en vetenskaplig uppsats.

Vi vill även rikta ett tack Riccardo De Masellis på Uppsala universitet, som hjälpt oss med AI-delen av examensarbetet. Ett stort tack till Alexandra Borg, som gett oss värdefull hjälp med språket i uppsatsen.

Tack till alla som tagit sig tiden att medverka på intervju.

Slutligen vill vi rikta ett stort tack till vår ämnesgranskare Anders Arweström Jansson för stöd under arbetet.

Begrepp

Ad hoc processen – Ansökningar om tåglägen som kan använda ledig kapacitet i järnvägsnätet. Möjligheten att ansöka öppnar en kort tid efter att tågplanen är fastställd/publicerad.

Artificiell intelligens - Artificiell intelligens är ett brett område inom datavetenskapen som innehåller flera olika metoder, synsätt och tekniker som illustrerar intelligent beteende genom att analysera, till viss del automatiskt, omgivningen, för att uppnå ett visst mål.

Artificiella neurala nätverk – Artificiella neurala nätverk benämns ofta som själva ryggraden till djupinlärning. ANNs använder sig av flera gömda lager för att skapa algoritmen.

ATC - ATC är en järnvägsteknisk konstruktion som är gjord för att förhindra olyckor som beror på att lokföraren inte reagerar i tid på optiska signaler och märken.

Avreglering – Avreglering syftar på regeländringar som leder till att skapa en mer öppen marknad. Anledningen till att avreglera är ofta viljan att skapa konkurrens. Konkurrensen uppnås genom att ta bort monopol på marknaden.

Baliser - Internationellt antagen beteckning för passiv informationssändare som ingår i järnvägens signalsystem ATC för järnvägar, samt signalsystemet ERTMS. Balisen är placerad i mitten av ett järnvägsspår mellan två räler.

Beslutsträd – En grafisk framställning bestående av en hierarkisk trädstruktur, som används för beslutsanalys. Grenarna representerar olika beslutsalternativ.

Ensemblemodeller - Ensemblemodeller är en avancerad modell som skapas genom att kombinera flera basmodeller. Denna metod kan minska bias eftersom resultaten är mindre beroende av en specifik modell. Metoden kräver däremot större lagringsutrymme och har en större beräkningskostnad än vid användandet av endast en modell.

European Rail Traffic Management System - ERMTS är ett stort industriellt projekt som implementeras i EU och består av ett gemensamt signalsystem. Systemet kommer möjliggöra drift mellan länder.

Fastighetsförvaltare - Förvaltare av fastigheter tillhörande järnvägens infrastruktur, exempelvis stationer och depåer.

Fordonsförvaltare - Fordonsförvaltaren äger fordonen.

Fordonstillverkare – Tillverkar fordon som används på järnvägen.

Fordonsombyggare - Utför nödvändig ombyggnad av fordon.

Fordonsunderhållare - Utför nödvändigt underhåll på fordonen.

Infrastruktur - Fasta anläggningar och installationer såsom spår, tunnlar, stationer, plattformar, depåer och bangårdar som bygger upp järnvägen och möjliggör transport. Infrastrukturen behöver kunna hantera den kapacitet som ska flöda samt den typ av trafik som ska bedrivas.

Infrastrukturförvaltare - Infrastrukturförvaltare äger infrastrukturen och ansvarar för den långsiktiga infrastrukturplaneringen och för att järnvägen fungerar som den ska. Trafikverket ansvarar för byggande, drift och underhåll av det statliga järnvägsnätet.

Järnvägsbranschens samverkansforum - JBS består av aktörer inom den svenska järnvägsbranschen med avsikt att skapa samordning och samarbete mellan olika delar av branschen.

Klassificeringsalgoritm –Klassificeringsalgoritmer gör prediktiva uträkningar genom att analysera träningsdata, som används för att tilldela data förutbestämda kategorier.

Kommersiell trafik – Vilken operatör som helst kan ansöka om spårkapacitet på spåren. Trafiken bedrivs efter företagsekonomiska förutsättningar utan subventioner från skattebetalare.

Maskininlärning - Maskininlärning är en underkategori inom artificiell intelligens. Det som kännetecknar en maskininlärningsalgoritm är att den kan extrahera mycket information från data utan tidigare kunskap, samt att algoritmens prestanda förbättras i takt med att det förs in mer träningsdata som algoritmen kan anpassas efter.

Regionala kollektivtrafikmyndigheter - De som ansvarar för uppfyllandet utav bestämmelser om kollektivtrafik på väg, järnväg, vatten, spårväg och tunnelbana enligt Lag (2010:1065) om kollektivtrafik.

Reglerings- och tillsynsmyndigheter - Transportstyrelsen utformar regler och riktlinjer för järnvägen baserat på regeringens mer övergripande förordningar. I Sverige behövs tillstånd för trafik på järnvägen, vilket går att söka hos Transportstyrelsen.

Räl – Stålskenan i ett järnvägsspår.

Räls – Skensträngen i ett järnvägsspår.

Spårentreprenör - Spårentreprenören är den som på uppdrag av infrastrukturförvaltaren bedriver arbeten i järnvägsinfrastrukturen.

Spårunderhåll - Idag sker all fördelningen av spårunderhåll i form av offentliga upphandlingar där alla kan konkurrera om olika delar av spårunderhåll i Sverige.

Trafikverket äger spåren och har uppdraget att beställa och koordinera underhållet av svensk järnväg.

Sociotekniskt system – Ett system där människa och teknik interagerar.

Strategiska mål – Strategiska mål är något som långsiktigt pekar ut riktningen till vart organisationen vill vara.

Trafikledning – Den enhet som leder trafiken inom järnvägen enligt fasta tidtabeller och körplaner. Det är en övergripande term som beskriver all planering och all styrning, från det att en plan läggs tillsammans med operatörer ett år innan till dess att tåget har nått plattform och avslutat resan.

Trafikplanering - Trafikplanering är den del av planeringsprocessen i trafikledning, som startar ett år innan och som slutar när planen tar slut och går över i de sista 24 timmarnas trafikstyrning.

Trafikstyrning –Behandlar den dagliga styrningen av trafiken. 24 timmar innan avgång övergår planeringsprocessen till trafikstyrning. Detta görs genom direkt styrning av trafiken enligt fasta tidsplaner.

Träningsdata – Data som innehåller exempel, med ”rätt svar” angivet. Datan används för att lära upp en AI-metod hur den ska agera baserat på olika varianter av inkomna data.

Tågoperatörer - Tågoperatörer bedriver person- och godstrafik på järnvägen.

International Association of Public Transport – UITP är en internationell organisation för offentligt ägda kollektivtrafikbolag och andra verksamma inom kollektivtrafik.

Underhåll - Järnvägssystemet innehåller många delar som ska underhållas. Signaler, växlar, elkraft, fordon, ställverk och kontaktledningar måste samverka för att hela systemet ska fungera. Underhållet behöver omhändertas effektivt för att bevara punktlighet och skapa robusthet.

Upphandlad trafik - Regionala kollektivtrafikmyndigheter upphandlar trafik där det finns samhällsbehov, och där det inte erbjuds kommersiella alternativ. Det är regionernas ansvar att säkerställa att det erbjuds kollektivtrafik som möter regionens behov. Aktiva operatörer kör alltså på uppdrag av regionens trafikmyndigheter. Trafik upphandlas då i specifika regioner, till exempel regionaltrafik Bergslagen och Stockholms pendeltågstrafik.

Innehållsförteckning

1. Inledning 1

1.1 Syfte och frågeställning 2

1.2 Avgränsningar 2

1.3 Disposition 3

2. Bakgrund 4

2.1 Sveriges järnväg 4

2.1.1 Järnvägens aktörer 4

2.1.2 Underhåll 5

2.1.3 Trafikledning 7

2.1.4 Regelverk och lagar för svensk järnväg 9

2.1.5 Mål för svensk järnväg 10

3. Fallbeskrivning - Stockholms pendeltågstrafik 12

3.1.1 Centrala aktörer 13

3.1.2 Utvecklings- och åtgärdsplan 15

3.1.3 Mål 16

3.1.4 Sammanfattning av mål 17

4. Ämnesteoretisk bakgrund 19

4.1 Artificiell intelligens 19

4.1.1 Tre generationer av AI 19

4.1.2 Maskininlärning 20

4.1.3 Optimeringsmetoder 21

4.2 Järnväg och AI 22

4.2.1 Forskning 22

4.2.2 Svenska forskningsprojekt inom AI 26

4.2.3 Tillämpningar av AI internationellt 27

4.3 Analysmodell 28

4.3.1 Utmaningar 28

4.3.2 Analysmodell 29

5. Metod 31

5.1 Kvalitativ studie 31

5.2 Litteraturstudie 31

5.2.1 Textanalys 31

5.2.2 Fallstudie 32

5.2.3 Genomförande 32

5.3 Empirisk datainsamling 32

5.3.1 Semistrukturerad intervjumetodik ... 32
5.3.2 Val av respondenter samt genomförande ... 33
5.3.3 Intervjuanalys ... 35
6. Resultat ... 37
6.1 Datastruktur ... 37
6.2 AI potential inom järnvägsbranschen för måluppfyllelse ... 39
6.2.1 AI potential inom flera områden ... 39
6.2.2 Gott samarbete ... 40
6.2.3 Stora volymer data ... 41
6.2.4 Digitalisering centralt hos aktör och ledning ... 41
6.3 Utmaningar ... 41
6.3.1 Problematik kring delning av data ... 42
6.3.2 Gammalmodig och trög bransch ... 42
6.3.3 Saknas kunskap och kompetens ... 43
6.3.4 Bristande dialog och samverkan mellan aktörer ... 44
6.3.5 Problematik kring regelverk och sekretess ... 44
6.3.6 Bristande datakvalitet ... 45
6.3.7 Ej ändamålsenlig organisering av verksamhet och data ... 45
6.4 Överkomma utmaningar ... 45
6.4.1 Förbättra datahantering ... 46
6.4.2 Öka samverkan ... 46
6.4.3 Öka kompetensen ... 47
6.4.4 Tydliggöra och förändra regler och lagar ... 47
7. Diskussion ... 49
7.1 AI-potential inom järnvägsbranschen för måluppfyllelse ... 49
7.2 Utmaningar ... 52
7.3 Överkomma utmaningar ... 53
7.4 Analysmodell ... 55
7.5 Tillförlitlighet ... 56
7.6 Begränsningar och vidare forskning ... 57
8. Slutsatser ... 58
Bilaga 1 ... 67

1. Inledning

Att genomföra storskaliga förändringar i ett sociotekniskt komplext system som järnvägen, är ingen enkel uppgift. Järnvägsbranschen är ständigt i rörelse och förändringar och omställningar behöver ske i takt med nya lagändringar och ny teknik. För att genomföra förändringar på infrastrukturnivå behövs investeringar och ett fungerande samspel mellan involverande aktörer. Den svenska järnvägen är avreglerad, vilket innebär att flera aktörer samsas och konkurrerar om spår och kunder (Söör, 2019a, s. 39–40). Samtidigt som förändringar kan leda till förbättringar kan förändringsprocessen, på grund av konkurrensen, bli kostsam och långdragen. För genomförande av större förändringar måste det också finnas möjlighet till vinster som kan motivera initiativen. Välfungerande och konkurrenskraftig transport har stor betydelse för Sveriges tillväxt och här har järnvägssystemet en central roll (Johansson och Bernsköld, 2016). Vidare har järnvägen, som transportmedel, en betydande roll i att uppnå internationella och nationella mål, så som Agenda 2030 och Sveriges transportpolitiska mål[1]. För att uppnå strategiska mål, både finansiella och hållbarhetsmässiga, behöver järnvägsbranschen optimeras och effektiviseras.

I järnvägsbranschen, likt många andra branscher, pågår just nu ett digitaliseringsarbete. Järnvägen blir alltmer uppkopplad och data genereras och samlas in kontinuerligt (Trafikverket, 2019). Denna data kan skapa värde med hjälp av artificiell intelligens (AI) för avancerade beräkningar. Inom AI finns potential för att använda data för att optimera och effektivisera verksamheten, vilket i sin tur kan bidra till att uppnå strategiska mål. AI[2] är ett brett område inom datavetenskapen som innehåller flera olika metoder, synsätt och tekniker som illustrerar intelligent beteende genom att analysera, till viss del automatiskt, omgivningen, för att uppnå ett visst mål (Abduljabbar m.fl., 2019, Lopez Conde, Twinn, 2019).

Järnvägen behöver bli mer attraktiv och pålitlig och då behövs förändringar. AI kan vara ett verktyg för att öka attraktiviteten och effektiviteten inom järnvägen, för att på så sätt nå strategiska mål. Enligt Chui m.fl. (2018) kan AI förbättra prestation inom transport på en helt annan nivå än tidigare analysmetoder. Inom resesektorn kan AI och maskininlärning öka mervärdet och tillväxten, i jämförelse med traditionella metoder, med 128 % (Chui m.fl., 2018). AI och dess potential är relativt outforskat i Sverige, vilket ytterligare stödjer vikten av studier inom området. Därför kommer denna studie undersöka potentialen hos AI kopplat till strategiska mål inom fallstudien - Stockholms pendeltågstrafik.

[1] För aktörer inom järnvägen kan dessa ses som exempel på strategiska mål. Därför används benämningen strategiska mål i detta arbete.

[2] När AI används som begrepp syftar vi på den andra generationens AI, ifall inget annat sägs. De tre generationernas AI beskrivs i avsnitt 4.1.1.

1.1 Syfte och frågeställning

Syftet med denna studie är att utreda hur AI, med fokus på maskininlärning och optimering, kan användas på den svenska järnvägsmarknaden för att uppnå strategiska mål. Inom strategiska mål ligger fokus på hållbarhetsmässiga och finansiella aspekter.

Studiens syfte uppnås med hjälp av följande frågeställningar:

- Vad finns det för potential för användandet av AI i järnvägsbranschen för att nå strategiska mål och vilka metoder inom AI kan i så fall vara användbara?
- Vad finns det för utmaningar vid nyttjandet av AI för att nå strategiska mål?
- Vad krävs för att överkomma de utmaningar som finns?

1.2 Avgränsningar

Studien är avgränsad till Sveriges järnväg, där Stockholms pendeltågstrafik används som fallstudie. För att kunna göra en ordentlig djupdykning har valet blivit att begränsa studien till pendeltåg i Stockholm och dess centrala aktörer. Valet av just Stockholms pendeltågstrafik som fallstudie beror på att pendeltågstrafiken i Stockholm har tätt med avgångar och kräver stor kapacitet, då många människor använder sig av pendeltågstrafiken dagligen. Ifall en störning sker hos pendeltågen kan det leda till störningar i hela järnvägssystemet. Järnvägsspåren i Stockholmsområdet har därmed en central roll för hela järnvägssystemets funktion. Därför ligger fokuset på att utforska hur detta område kan gynnas av AI.

Då studien är begränsad i tid och omfång gjordes bedömningen att de tre mest centrala aktörerna (Trafikförvaltningen/SL, MTR och Trafikverket) var mest relevanta att fokusera på för att besvara studiens syfte. Detta möjliggör en fördjupning kring hur både privata och offentliga aktörer kan nyttja potentialen av AI. Vi valde två offentliga aktörer, vilket är intressant ur en samhällssynpunkt. Vi valde även en privat aktör, för att få deras perspektiv på användningspotentialen, och därmed skapa en bredare förståelse för ämnet.

Studien begränsas till hur AI, med ett fokus på maskininlärning- och optimeringsmetoder, kan appliceras inom svensk järnväg, då detta är ett relativt outforskat område med stor potential. Inom järnvägsbranschen kan AI tillämpningar användas inom flera områden. Forskningen har visat störst potential inom områdena underhåll och trafikledning, således har dessa områden valts som fokusområden i denna studie. Vidare ligger fokuset på AI som en möjliggörare för tekniska framsteg inom järnväg. Vi har således inte studerat hur det fungerar och tillämpas i praktiken.

1.3 Disposition

Denna uppsats inleds med en bakgrund som presenterar relevant information som är viktig för att förstå syftets sammanhang. Här presenteras information om underhåll, trafikledning, regelverk och lagar och avslutningsvis de mål som branschen arbetar mot. Vidare presenteras studiens fallbeskrivning. I detta avsnitt delges information kring pendeltågstrafiken och dess centrala aktörer, utvecklings- och åtgärdsplan samt mål.

Därefter presenteras den ämnesteoretiska bakgrunden, som innehåller information om AI. Avsnittet innehåller information om vad AI innebär, hur AI har utvecklats genom historien, maskininlärning och optimeringsmetoder. Vidare redogörs information kring forskning inom området transport/järnväg och AI. Avslutningsvis presenteras ett teoretiskt ramverk i form av en analysmodell, som används som hjälpmedel för att besvara de tre frågeställningarna.

I metodavsnittet presenteras den kvalitativa induktiva metod som använts för denna studie. Studien har genomförts i form av en litteraturstudie samt empirisk datainsamling, vilket beskrivs mer djupgående. För analys av intervjumaterialet har Gioia-metoden, som är en systematisk metod för att analysera data, använts.

I resultatet presenteras insamlade data från intervjuerna med hjälp av Gioia-metoden. Avsnittet inleds med en presentation av den datastruktur som skapats. Därefter presenteras sammanfattningar av dimensioner och teman utefter respektive frågeställning.

Avslutningsvis presenteras diskussionen där resultatet ställs i relation till forskning. Vidare presenteras tillförlitlighet, begränsningar, förslag på vidare studier och generella slutsatser.

2. Bakgrund

I detta avsnitt ges en överblick av den svenska järnvägen, för att skapa en grundläggande förståelse för ämnet kopplat till syfte och frågeställningar. Inledningsvis beskrivs kortfattat Sveriges järnvägshistoria och vad avregleringen av den svenska järnvägen innebär. Vidare beskrivs järnvägens aktörer, underhåll, trafikledning, regelverk och slutligen mål inom den svenska järnvägen.

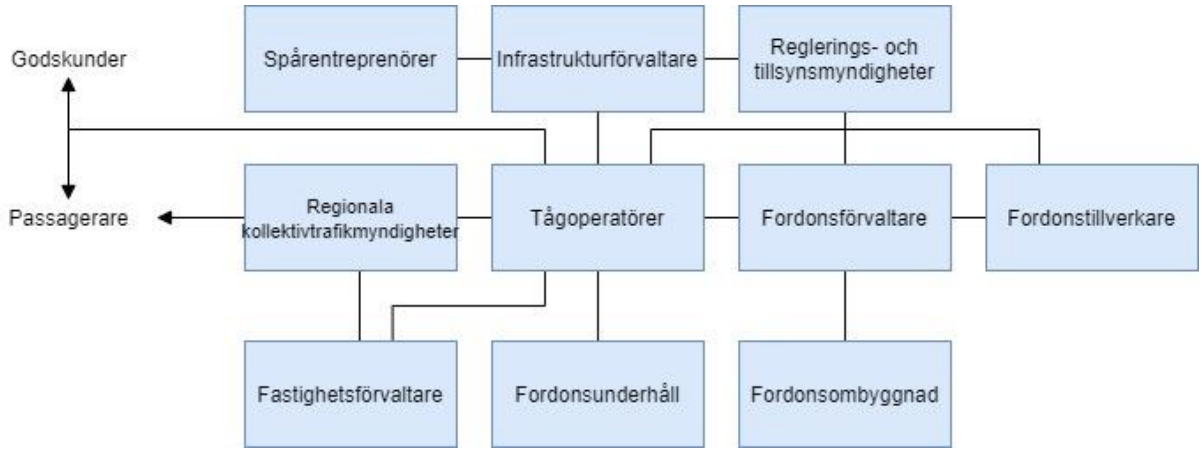
2.1 Sveriges järnväg

Den svenska järnvägens historia hade sin start redan på 1700-talet i de svenska gruvorna. Där användes räler av trä för godstransport med hästar som dragkraft. I slutet av 1700-talet byttes i stort sett alla träräler ut mot järnvägar. Under 1840-talet påbörjades sedan planerna på ett etablerat svenskt järnvägsnät. Järnvägsnätet har kontinuerligt utvecklat och förändrats sen dess (Nationalencyklopedin, u.å.-b). Sedan början av 1990-talet har järnvägstrafiken ökat med ungefär tre procent årligen, både för persontrafik och gods. Den övervägande delen av denna ökning har skett inom persontrafik, framför allt inom lokal och regional trafik (Trafikanalys, 2018).

Avregleringen av den svenska järnvägen påbörjades på 80-talet. Den fullständiga avregleringen började först senare; mellan år 2000 och år 2010 pågick arbetet att privatisera spårunderhåll och ta bort monopolet på persontrafik. Avregleringen innebär idag att olika aktörer samsas och konkurrerar om spår och kunder. Konkurrensen blir främst påtaglig inom den kommersiella trafiken, medan den upphandlade trafiken inte påverkas i samma utsträckning (Söör, 2019a, s. 39–40). Enligt Transportstyrelsen har avregleringen bidragit till att attraktionskraften hos tåg har ökat. Jämfört med innan avregleringen väljer fler att åka tåg idag. Troligtvis beror detta på den ökade flexibilitet som ett större utbud har inneburit (Transportstyrelsen, 2018). En nackdel med den ökande konkurrensen är att flera aktörer, som kör på samma spår, måste samordna tidtabeller och resevillkor. Ibland går samarbetet bra men ibland är det svårt för aktörerna att enas. Konkurrensen för tillika med sig ökad komplexitet, där fördelningen av spårkapacitet förmodligen är den mest kritiska aspekten. Detta eftersom branschens kapacitet är begränsad (Söör, 2018 s. 223–225).

2.1.1 Järnvägens aktörer

I figur 1 presenteras aktörer som verkar inom järnvägsbranschen i Sverige idag och deras relationer. Förklaring av varje aktörs ansvarsområde finns i begrepp och förkortningar (vilket presenteras tidigare i rapporten).



Figur 1: Överblick över relationerna mellan järnvägsbranschens aktörer. De aktörer som huvudsakligen har kontakt med varandra illustreras genom de svarta strecken. Tågoperatörer och regionala kollektivtrafikmyndigheter är de som har direkt kontakt med godskunder och passagerare (Swedtrain, u.å.-a, egen bearbetning)

Utöver ovan beskriva aktörer har internationell och nationell politik stor inverkan på järnvägen i Sverige (Swedtrain u.å.-b), vilket förklaras vidare i avsnitt 2.1.4.

2.1.2 Underhåll

Järnvägssystemet innehåller många delar som behöver underhållas. Signaler, växlar, elkraft, fordon, ställverk och kontaktledningar måste samverka för att hela systemet ska fungera. Dessutom behöver underhållet omhändertas effektivt för att bevara punktlighet och skapa robusthet (Trafikverket, 2020a).

Årstidsberoende underhåll

En stor del av underhållsarbetet av infrastrukturen och fordon kretsar kring hantering av väder som årstiderna bär med sig (Trafikverket, 2021, Johansson, 2019). Varje ny årstid innebär nya utmaningar.

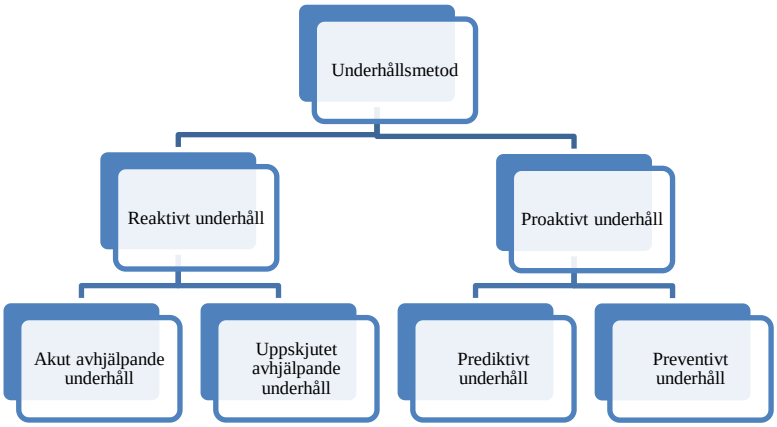
Under vintertid är snö ett av de största problemen som järnvägen utsätts för och för att hantera detta skapas beredskapsplaner. Trots att det skapas planer blir tåg försenade och inställda varje år på grund av att snöröjning inte hinner avlägsna snön i tid. Vidare kan det uppstå problem även när snön är frånvarande, i form av tjälskador (Trafikverket, 2021).

Under månader med ökad växtlighet, såsom under vår och sommar, ökar risken att personal halkar eller snubblar på spåren. Vidare gör växtlighet på spåren att det är svårare att säkerhetsbesikta infrastrukturen samt att utföra underhållsarbete. (Trafikverket, 2021).

Under hösten är det största problemet att det skapas mer beläggningar på rälsen såsom löv, olika typer av föroreningar och smörjfett. Eftersom det finns mycket fukt i luften under hösten kan beläggningarna leda till att tåget slirar (Trafikverket, 2021).

Metoder inom underhåll

Några av de största utgifterna inom järnvägsindustrin är olika typer av underhåll. Enligt Xie m.fl. (2020) är det avgörande att hitta lämpliga underhållsstrategier, för att hantera och minska underhållskostnader. I figur 2 visas hur olika underhållsstrategier förhåller sig till varandra hierarkiskt.



Figur 2: Underhållsmetoder (Narayan, 2004, s.151, Trafikverket, u.å., egen bearbetning).

Underhåll kan utföras i förebyggande syfte, för att förhindra att framtida problem uppstår. Denna variant av underhåll kallas proaktivt underhåll. Inom denna kategori ingår prediktivt underhåll och preventivt underhåll (se figur 2). Prediktivt underhåll innebär att underhåll utförs genom att funktionalitetstid kontinuerligt räknas ut. Funktionalitetstid syftar på den tid det beräknas ta innan utrustningen fallerar. Funktionalitetstiden beräknas ofta via kontinuerliga tillståndsavläsningar eller genom resultat från viss utförd aktivitet (Narayan, 2004, s.150–151). Inom prediktivt underhåll används ofta metoder och algoritmer inom artificiell intelligens (Kunskapsförmedlingen u.å.). Prediktivt underhåll är enligt Xie m.fl. (2020) den mest önskvärda strategin eftersom den minskar underhållskostnader genom att förlänga livslängden hos järnvägens komponenter och möjliggör för operatörer och infrastrukturägare att planera underhåll i förtid. Preventivt underhåll innebär att underhåll utförs efter en viss uppmätt tid. Tiden som utrustningen har använts avgör om underhåll är nödvändigt eller ej. Problemet med denna typ av strategi är att beräkningarna kan överskatta underhållsbehovet. Detta kan innebära att utrustningen egentligen inte behöver underhållas, vilket i sin tur leder till onödiga utgifter (Narayan, 2004, s.150–151).

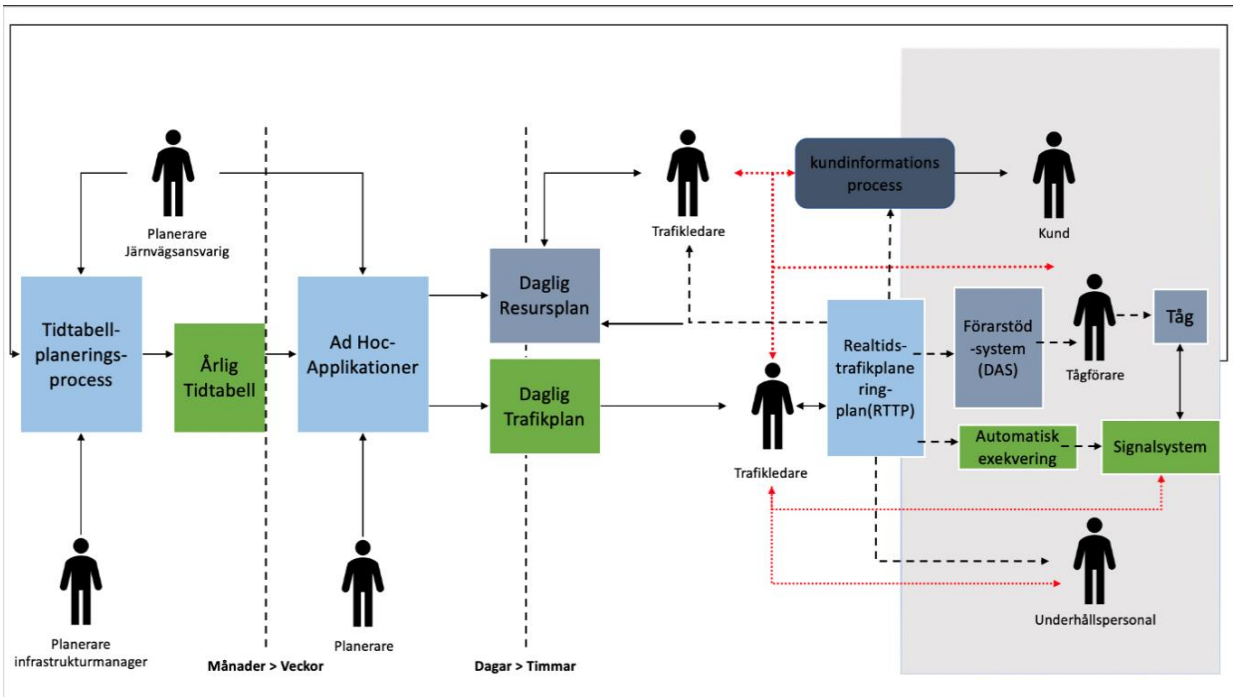
Motsatsen till proaktivt underhåll är reaktivt underhåll. Då sker underhållsarbete i samband med att ett fel har uppstått. Denna strategi kännetecknas av kort planeringstid och större utgifter är ofta oundvikliga. Vid uppskjutet avhjälpande underhåll finns det en medvetenhet kring ett fel, där underhåll kan planeras och schemaläggas senare. I samband med akut avhjälpande underhåll sker underhåll oftast direkt, eftersom felet måste åtgärdas omedelbart för att driften inte ska påverkas (Narayan, 2004, s.150–151, Trafikverket, u.å.).

2.1.3 Trafikledning

Trafikledning innefattar de handlingar som krävs för att ta effektiva beslut om hur driften av tåg ska bedrivas. Därmed består trafikledningsområdet av uppgifter såsom hantering av plötsliga förändringar i trafiken, tidtabellplanering och planering av besättningsschema tillexempel (Yang och Li, 2019, Trafikverket, 2020d) Ifall en olycka sker eller ifall tekniken inte fungerar som den ska så är det trafikledningens uppgift att skicka ut hjälp och informera trafikanter. Informationen, tillsammans med trafikledarens erfarenhet och kunskap samt ett tekniskt stödsystem, utgör grunden för hur händelserna hanteras (Trafikverket, 2020d).

Processer inom trafikledning

Trafikledningsområdet innefattar flera strategier och processer i ett komplext socioteknisk system (Arweström Jansson, 2017). Tågtrafikplaneringsprocessen påverkas av flera delprocesser (se figur 3). I denna figur illustreras trafikplanerings- och trafikkontrollprocessen i Sverige. Det finns två sidor i figuren, den vänstra delen av figuren illustrerar planeringsprocessen (vit bakgrund) och den högra sidan representerar trafikstyrningen (grå bakgrund). Den vänstra sidan skapar en grund för den dagliga driften (Tschirner, m.fl., 2014). Som det går att se i figur 3 så består planeringsprocessen av många aktörer och delmoment. Vidare beskrivs de delar av processen som anses vara viktigast för att få en förståelse för trafikledningsarbetet.



Figur 3: En förenklad bild över trafikplaneringsprocessen, vilket löper från schemaläggning med en tidshorisont på upp till ett år, till den dagliga trafikplanen som skapas upp till en dag innan den används. RTTP är vidare den plan som används i realtid. De svarta pilarna illustrerar kommunikation mellan aktörer och områden. De streckade svarta linjerna illustrerar automatiskt inhämtad information från RTTP. De röda streckade linjerna visar muntlig kommunikation (Tschirner, m.fl., 2014, egen bearbetning).

Den årliga tidtabellen skapas utefter information om trafikdriftens resultat tidigare år samt de ansökningar som kommer in i tågplaneringsprocessen (Tschirner, m.fl, 2014, Trafikverket, 2016). Utifrån denna information skapar planerare en årlig tidtabell på månads- och veckobasis. Planerare järnvägsansvarig kan uppdatera ad hoc processen till och med 24 timmar innan drift, vilket resulterar i en operativ trafikplan och en tillhörande resursplan. Dessa planer har i sin tur en direkt påverkan på realtidstrafikplaneringsplanen (RTTP) som skapar en bas för trafikdriften (styrningen), se den högra delen av figur 3. Det är viktigt att förstå att RTTP har en central roll i trafikplaneringen. Enligt Tschirner m.fl., (2014) är det den enda viktiga planen. En trafikledare uppdaterar denna plan kontinuerligt utifrån den dagliga trafikplanen, för att hantera störningar. Den ursprungliga trafikplanen känner oftast endast trafikledaren till. Det är viktigt att den uppdaterade planen kommuniceras ut till berörda aktörer. Detta sker ofta muntligt via telefon av trafikledaren och är ofta en tidskrävande samt komplicerad uppgift (Tschirner, m.fl., 2014).

När uppdatering av planer utförs arbetar trafikledarna manuellt med papper och penna för att illustrera förändringarna som skett, se figur 4. Till hjälp har trafikledaren dessutom tillgång till ett trafikkontrollsystem som visar infrastrukturens status. Detta innefattar information om schemalagda spår, lediga spår och upptagna spår. Denna information

saknar tågförarna, men de har tillgång till annan värdefull information som trafikledarna inte har tillgång till. Till exempel har de information om väderläget och annan lokal information som är nödvändig för trafikledarna (Andreasson m.fl., 2019). Det blir problematiskt när berörda aktörer inte kan tillgå samma uppdaterade RTTP-information, eftersom detta leder till att aktörerna inte får en helhetsbild av det uppdaterade trafikläget. Vidare leder detta till aktörerna inte agerar i symbios med varandra, vilket kan leda till ännu fler problem och förseningar (Tschirner m.fl., 2014).

Figur 4: Centrala verktyg som används i trafikplaneringsprocessen av en trafikledare. På bilden visas ett trafikkontrollsystem, en tid-distansgraf på papper, linjal, penna och telefon (Andreasson m.fl., 2019).

2.1.4 Regelverk och lagar för svensk järnväg

Politiker lägger grunden för vad som får göras inom järnvägen i Sverige, vilket gäller på internationell-, EU- och riksnivå. I Sverige är det riksdagen som beslutar och bestämmer över den övergripande järnvägspolitiken, framför allt genom att stifta lagar kopplat till järnvägen. De mest centrala lagarna för järnvägstrafik är Järnvägslagen (2004:519) och Lag (2010:1065) om kollektivtrafik. Inom Europeiska unionen (EU) beslutar EU-parlamentet om olika direktiv som medlemsländerna ska uppfylla. EU-kommissionen beslutar om tekniska specifikationer som behövs för att direktiven ska uppfyllas (Swedtrain, u.å.-b). Ett direktiv sätter upp mål som medlemsländerna ska uppfylla, men lämnar det till medlemsländerna att avgöra exakt hur införlivas i respektive lands regelverk. Medlemsländerna har då en viss tid på sig att genomföra nationella lagar som förhåller sig till de direktiv de får (Transportstyrelsen, 2020).

2.1.5 Mål för svensk järnväg

FN

Till år 2030 har Förenta nationerna (FN) skapat Agenda 2030 som innehåller 17 hållbarhetsmål på internationell nivå. Transportsystemet är integrerat i de flesta av de 17 målen. God tillgänglighet har en central roll i skapandet av ett fungerande och hållbart samhälle, vilket är ett av målen inom Agenda 2030. Här har transportsystemet och särskilt uttalat järnvägen, stor inverkan och påverkan på möjligheten att uppnå dessa mål (Trafikverket, 2020c, Hunhammar m.fl., 2019).

EU

Det har konkretiserats mål för åren 2030, 2035 och 2050. Bland annat beskrivs det i dessa mål att EU redan år 2030 ska ha 100 klimatneutrala länder, att höghastighetstågstrafiken ska dubbleras och att all schemalagd trafik, under 500 kilometer, ska vara koldioxidneutral. Vidare beskrivs det att målsättningen för år 2050 är att EU ska ha 27 klimatneutrala länder, att antalet godståg ska dubbleras, att höghastighetstågstrafiken ska tripplas och att Trans-European Transport (TEN-T) ska fungera för både hållbara och smarta transporter (European Commission, 2020). TEN-T är mer specifikt ett planerat nätverk för järnväg, vägar, flygplatser och marina transporter. Tanken med TEN-T är att minska avstånd, ta bort flaskhalsar och tekniska barriär och samtidigt stärka den sociala, ekonomiska och territorial sammanhållningen i EU (European Commission, 2021).

Målen för år 2050 är en del av ”European Green Deal”, vars målsättning är att skapa en hållbar ekonomi. Huvudsakligen genom minskning av koldioxidutsläppen med 90 procent fram till 2050 (European Commission, u.å.). Europakommissionen beskriver att utgångspunkten för att “European Green Deal” ska lyckas är att transportsystem inom EU i sin helhet blir hållbara. Det räcker inte med att delar av systemet fungerar utan hela nätverket måste på ett framgångsrikt sätt interagera och sträva efter samma mål (European Commission, 2020). Utifrån dessa mål har Sverige satt upp nationella mål och transportpolitiska mål för 2030 och 2045 (Miljödepartementet, 2017).

Sverige

Sveriges miljömål består utav ett generationsmål och 16 miljökvalitetsmål. Dessa miljömål är det nationella genomförandet av miljöaspekten inom de globala hållbarhetsmålen (Agenda 2030). Generationsmålet är ett övergripande mål som styr den svenska miljöpolitiken och består av vägledning för miljöarbete på alla nivåer i samhället. Tillsammans med de 16 miljömålen ger de ett löfte till den framtida generationen om frisk luft och hälsosamma miljöer. För att kunna uppfylla dessa mål krävs politiska beslut och åtgärder både i Sverige, EU samt internationellt (Sveriges miljömål, u.å.).

Transportsektorn i Sverige påverkas av transportpolitiska mål. Transportpolitikens övergripande mål är att säkerställa en samhällsekonomiskt effektiv och hållbar transportförsörjning på lång sikt, för näringslivet och medborgare i Sverige. Vidare har riksdagen beslutat om klimatmål för transportsektorn. Till år 2030 ska växthusutsläppen från inrikes transport, förutom inrikes luftfart som ingår i EU:s utsläppshandelssystem, minska med 70 procent jämfört med år 2010. År 2045 är målet att ha ett klimatneutralt transportsystem (Regeringskansliet, u.å.).

Ett branschgemensamt mål för järnvägens aktörer är ett punktlighetsmått på 95 procent. Detta innebär att 95 % av alla tåg ska ankomma till slutstation inom en marginal på fem minuter efter utsatt tid. Målet syftar till att bibehålla och utöka järnvägens attraktivitet och få fler att välja järnvägen som transportmedel. Järnvägsbranschens samverkanforum (JBS) har skapat målet inom projektet *Tillsammans för Tåg i Tid* och det används som en gemensam grund över vad aktörer inom branschen bör sträva mot (JBS, 2020).

3. Fallbeskrivning - Stockholms pendeltågstrafik

Detta avsnitt beskriver rapportens fallstudie; Stockholms pendeltågstrafik. Först delges övergripande information om hur pendeltågstrafiken i Stockholm ser ut. Vidare ges information om de mest centrala aktörernas (MTR, Trafikförvaltningen/SL och Trafikverket) uppgifter. Avslutningsvis presenteras utvecklings- och åtgärdsplanen samt mål för Stockholms pendeltågstrafik.

I Sverige bedrivs pendeltågstrafik i Stockholmsområdet sedan år 1968, mellan innerstad och förort (Nationalencyklopedin, u.å.-a). Pendeltågstrafiken består av upphandlad trafik från involverade regioner. Regionala kollektivtrafikmyndigheter upphandlar trafik där det finns samhällsbehov (Söör, 2019a, s.39, Söör, 2019b). Inom Stockholms pendeltågstrafik är det tre regioner: region Stockholm, region Uppsala och region Sörmland, som samarbetar och ser till att trafiken fungerar (Trafikverket Region Stockholm m.fl., 2020, s. 22). Motsatsen till den upphandlade trafiken är kommersiell trafik, vilket innebär att det är fritt fram för operatörer att ansöka om spårkapacitet (Söör, 2019a, s.39, Söör, 2019b).

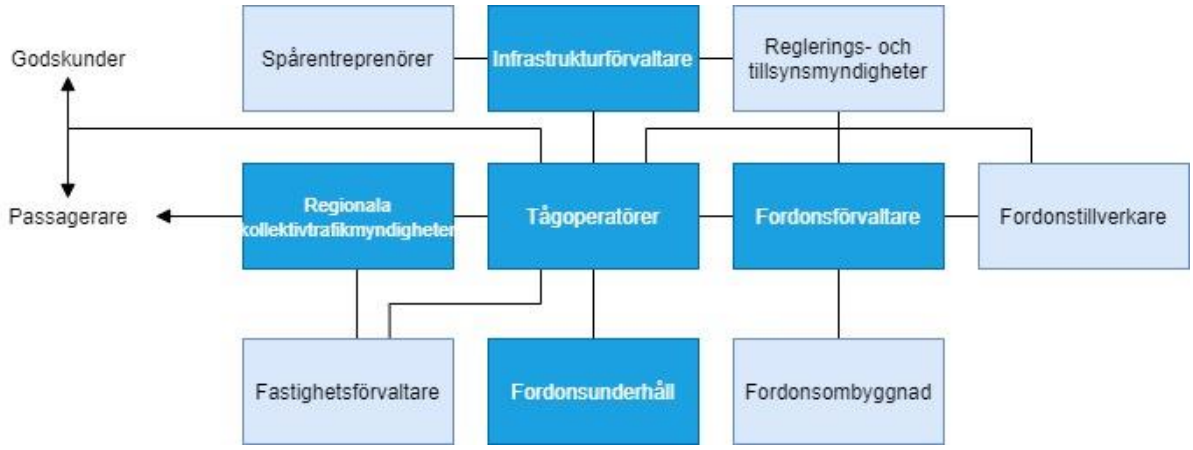
Varje år har pendeltågen i Stockholmregionen cirka 87 miljoner resenärer (MTR, 2019). Trafiken består av 54 stationer på fyra linjer som knyter ihop Stockholm med omnejd från norr (Bålsta, Märsta, Arlanda, Uppsala) till söder (Gnesta, Södertälje, Nynäshamn) (MTR 2019, MTR, 2021). Pendeltågsnätet presenteras i figur 5.

Figur 5: Stockholms pendeltågsnät (Wikipedia, 2020)

3.1.1 Centrala aktörer

Inom Stockholmsområdets pendeltågstrafik finns flera centrala aktörer. De huvudsakliga aktörerna är Trafikverket, Trafikförvaltningen/SL, Trafiknämnden och MTR. De olika aktörerna har olika roller och ansvarsområden och tillsammans samarbetar dessa aktörer för att skapa en välfungerande pendeltågstrafik (Trafikverket, 2018). SL och Trafikförvaltningen kan ses som en och samma aktör. SL är varumärket medan Trafikförvaltningen står för den största delen av verksamheten (SL, 2012).

De tre mest centrala aktörerna (Trafikförvaltningen/SL, Trafikverket och MTR) beskrivs mer djupgående i nedanstående avsnitt. Aktörernas roller inom Stockholms pendeltågstrafik illustreras i figur 6. Trafikförvaltningen är regional kollektivtrafikmyndighet och fordonsförvaltare i Stockholmsregionen, Trafikverket är infrastrukturförvaltare och MTR är tågoperatör samt tar hand om fordonsunderhåll.



Figur 6: Detta illustrerar relationerna mellan olika aktörer på järnvägen, där de som är mörkblå representerar de tre aktörer som fokuset ligger på i detta arbete kopplat till Stockholms pendeltågstrafik (Swedtrain, u.å.-a, egen bearbetning).

MTR

År 2015 tilldelades MTR, av Trafikförvaltningen och Trafiknämnden, uppdraget att ansvara och driva pendeltågstrafiken under den då kommande tioårsperioden i Stockholmsregionen. MTR:s ansvar utgörs av följande uppgifter: ansvara för drift av pendeltågstrafik, fordonsunderhåll, planering av tidtabeller och kundservice. MTR:s dotterbolag MTR Tech har ansvar för underhåll av pendeltågen. Vidare är MTR tillika arbetsgivare åt närmare 2000 anställda som arbetar som tågförare, fordonsunderhållare, städare av stationer, ingenjörer, stationsvärdar och trafikledare (MTR, 2021).

Trafikverket

Trafikverket är infrastrukturförvaltare och ansvarar för långsiktig planering, drift och underhåll inom vägtrafik, järnväg, sjöfart och luftfart. I praktiken innebär detta att de ska se till att transportsystemen fungerar (Trafikverket, 2020b). Varje år upphandlar Trafikverket tjänster och entreprenader för omkring 40 miljarder kronor. Budgeten används för att underhålla och utveckla väg- och järnvägstrafiken (Trafikverket, u.å.).

Trafikverkets ansvar gentemot pendeltrafiken är att se till att pendeltågspåren, stationerna, el och signaler fungerar och underhålls. Dessutom ansvarar Trafikverket för utbyggnaden pendeltågstrafikens infrastruktur och att pendeltågen får egna spår, som tros resultera i ökad punktlighet och tätare trafik (Trafikverket, 2018).

SL och Trafikförvaltningen

SL är det bolag i Stockholm som är trafikhuvudman för all kollektivtrafik som sker i Stockholm. Det innebär att det är SL som huvudsakligen ansvarar för att driva och

informera om pendeltågstrafiken. År 2012 bestämdes det, som en följd av kollektivtrafiklagen, att Trafikförvaltningen i Stockholmsregion skulle ta över alla de ansvarsområden som SL tidigare haft. Detta innebär att SL idag är det använda samlingsnamnet samt varumärket för den upphandlade kollektivtrafiken, men att det är Trafikförvaltningen som ansvarar och sköter kollektivtrafiken (SL, 2012). Trafikförvaltningen styrs politiskt via Trafiknämnden i region Stockholm och det är regionfullmäktige som bestämmer Trafiknämndens ledamöter. Vidare finansieras kollektivtrafiken via biljettförsäljning samt regionskatter (SL, 2012). På grund av att Trafikförvaltningen står för den största delen av verksamheten kommer vi fortsättningsvis oftast referera till Trafikförvaltningen, inte SL.

3.1.2 Utvecklings- och åtgärdsplan

Mellan år 2017 och 2020 genomförde Trafikverket tillsammans med Trafikförvaltningen i Stockholm en större utredning för att undersöka åtgärder för att förbättra Stockholms pendeltågstrafik. Eftersom denna studie är avgränsad till att utreda hur underhåll och trafikledning kan förbättras kommer endast dessa områden beskrivas i detta avsnitt.

Gällande underhåll av infrastruktur belyser utredningen att det idag är svårt att veta vilka krav som ska ställas på underhållsentreprenörer. Två åtgärdsförslag som presenteras är att anläggningsinformation ska användas i större utsträckning och att lösningar ska kretsa kring användandet av nya beräkningssätt för att möjliggöra användandet av proaktivt underhåll. Anläggningsinformationen kan tillika användas för att skapa tydligare kravspecifikationer som underhållsentreprenörer kan använda sig av. Vidare åtgärdsförslag är att öka digitaliseringen av infrastrukturen. Ett förslag är att göra anläggningen mer uppkopplad genom användning av sensorer för att samla in mer data och information. Ytterligare ett förslag är att tillämpa fordonsbaserad mätning i större utsträckning. Åtgärdsstudien visar att anläggningens datakvalitet ofta är i varierande skick och att återrapporteringen och uppföljningen av indatakvalitet måste förbättras. Det finns dessutom en önskan om att öka användning av analysverktyg som använder sig av befintliga data och som har mandat att ta beslut om huruvida underhållsåtgärder bör genomföras eller inte (Trafikverket Region Stockholm m.fl., 2020, s. 66).

Inom trafikledningsområdet visar åtgärdsstudien att trafikledning inom Stockholms pendeltågstrafik måste moderniseras för att kunna möta förväntad framtida trafikutveckling. Samtidigt framkommer det att denna del av järnvägsbranschen är komplex och att det finns många beroenden, som gör att det är svårt att skapa separata åtgärdsförslag. Det måste därför finnas ett samspel mellan flera olika åtgärder. En åtgärd är att presentera all relevant trafikinformation i realtid, vilket ska kunna ge en helhetsbild av det aktuella läget i trafiken. Idag är det svårt att få en helhetsbild av trafikläget då trafikinformation finns i olika system. Förslaget är att exempelvis MTR och Trafikverket ska kunna dela information mellan varandra i realtid. Ytterligare en åtgärd är att digitalisera regelverk och arbetssätt. Digitaliseringen tros kunna skapa effektivare rutiner.

Dessutom är antalet olika stödsystem generellt ett problem då det finns många olika system, vilket leder till att det blir svårt att få en helhetsbild av trafikläget (Trafikverket Region Stockholm m.fl., 2020, s. 68).

3.1.3 Mål

Mål för utveckling inom pendeltågstrafiken

Trafikverket Region Stockholm har tillsammans med Trafikförvaltningen mellan år 2017 och 2020 gjort en åtgärdsvalsstudie för utveckling av pendeltågstrafiken i Stockholm. I studien togs år 2019 beslut om mål för utveckling av pendeltågstrafiken. I arbetet med att formulera mål utgick de från Trafikverket och Trafikförvaltningens verksamhetsmål. De operativa målen utgår från fyra tematiska målområden: ett attraktivt pendeltågssystem, ett stort förtroende för pendeltågssystemet, ett störningståligt pendeltågssystem och ett resurseffektivt pendeltågssystem. Dessa mål och tillhörande delmål redovisas i Figur 7.

Figur 7: Mål för utveckling av pendeltågstrafiken. Under respektive mål redovisas delmål. PTS står för pendeltågssystem (Trafikverket Region Stockholm m.fl., 2020 s. 47, egen bearbetning).

Incitamentskonstruktioner

Ett uppdragsavtal mellan Trafikförvaltningen och MTR (2015a) fastställdes år 2015 för pendeltågsverksamheten i Stockholmsregionen. Uppdragsavtalet grundar sig i beställarens (Trafikförvaltningen) vision att skapa en attraktiv kollektivtrafik i ett hållbart

transportsystem som bidrar till att skapa Europas mest attraktiva storstadsregion. Detta uppdragsavtal innehåller exempelvis incitamentskonstruktioner som ska ses som ett uttryck för att utveckla verksamheten och möta beställarens övergripande mål med uppdraget (Trafikförvaltningen, 2015a). Incitamentskonstruktionerna bygger på angivna målnivåer och krav som beroende på utfall kan resultera i bonus eller vite för MTR, inom olika områden. Ett centralt område inom incitamentskonstruktionerna är punktlighet. I tabell 1 listas punktlighetsnivåer med tillhörande bonus eller vite. Maximal årlig bonus inom aktörens egen punktlighet är 27 miljoner kronor. Maximalt vite är likaså 27 miljoner kronor. I dessa beräkningar undantas bristande punktlighet som är förorsakad av händelser, begränsningar eller störningar från en annan aktör. MTR måste visa att de inte kunde övervinna eller arbeta runt detta genom alternativa lösningar (Trafikförvaltningen, 2015b).

Tabell 1: I denna tabell redogörs några exempel på belopp för trafikutövaren, i bonus eller vite (Trafikförvaltningen, 2015b, egen bearbetning).

Trafikutövarens punktlighet (%)	**Tusen kronor**
100	2250
99,5	1750
99	500
98,6–98,9	0
98,5	-400
98,1	-2000
<= 98	-2250

3.1.4 Sammanfattning av mål

I tabell 2 presenteras en sammanfattning av mål som påverkar aktörer inom pendeltågstrafiken. Utförlig beskrivning av mål finns i avsnitt 2.1.5. samt tidigare i detta avsnitt. Alla mål förutom incitamentskonstruktionerna rör alla centrala aktörer. Incitamentskonstruktionerna berör endast MTRs.

Tabell 2: Sammanfattande tabell över mål.

Nivå	Mål
Internationella mål	Agenda 2030
	European green deal
Nationella mål	Sveriges miljömål
	Transportpolitiska målen
Järnvägsbranschen	95 % punktlighet
Pendeltågstrafiken	Mål för utveckling inom pendeltågstrafiken
Aktörsnivå	Incitamentskonstruktioner

4. Ämnesteoretisk bakgrund

I detta avsnitt presenteras den ämnesteoretiska bakgrunden. Inledningsvis beskrivs begreppet artificiell intelligens, tre generationer av AI, maskininlärning och optimeringsmetoder. Därefter beskrivs AI inom järnväg och transport, där exempel på flertalet olika metoder och algoritmer som enligt forskning visat sig ha potential inom området, presenteras. Vidare beskrivs några av de algoritmer och metoder som nämnts mer djupgående samt dess applikationsområden, främst kopplat till underhåll och trafikledning. En sammanfattande figur återges som redogör för de fördjupade metoderna och dess respektive applikationsområde. Alla algoritmer som omnämns kan eventuellt användas inom andra användningsområden än de som nämns i texten. Därefter återges pågående forskningsprojekt i Sverige inom AI kopplat till järnvägen, samt vad som gjort internationellt. Sist presenteras analysmodellen, som används som ramverk för att besvara frågeställningarna.

4.1 Artificiell intelligens

AI är ett brett område inom datavetenskapen som innehåller flera olika metoder, synsätt och tekniker som illustrerar intelligent beteende genom att analysera omgivningen, för att uppnå ett visst mål. Denna analys sker till viss del automatiskt (Abduljabbar m.fl., 2019, Lopez Conde, Twinn, 2019). Områden inom AI sträcker sig från inlärning och uppfattning till mer specifika områden, som schackspel, bevis av matematiska teorier och prediktion av sjukdomar. AI är användbart till alla typer av intellektuella uppgifter, vilket gör det till ett universellt ämnesområde (Russell och Norvig, 2002, s.1). Svårigheter som kan uppstå vid användandet av traditionella beräkningstekniker kan enligt Abduljabbar m.fl., (2019) istället lösas med AI-metoder.

4.1.1 Tre generationer av AI

Det talas ofta om AI:s stora potential att digitalisera och effektivisera världen, samtidigt finns det många exempel på när AI-projekt inte gett önskat resultat. Vissa menar att AI borde utvärderas mer kritiskt och att det bör utredas varför det finns många misslyckade AI-projekt. Det går att urskilja vågor av AI-forskning där nya viljor har samlats för att bedriva forskning kring AI. Ofta har det funnits höga förhoppningar om vilka problem AI ska lösa, vilket har resulterat i besvikelse (Szu och The Al Working Group, 2019).

Den första generationens AI-forskning presenterades av Marvin Minsky år 1970 och bestod av regelbaserad AI (Szu och The Al Working Group, 2019). Regelbaserad AI är den enklaste formen av AI och den är begränsad i sin förmåga att simulera intelligens (Tricentis, 2021). Den AI, som används i praktiken idag, är den andra generationens AI. Den andra generationens AI klarar av att skapa mer avancerad kunskapsrepresentation och bedömningar. Generationen är starkt förknippad med området maskininlärning, som beskrivs mer ingående i avsnitt 4.1.2 (Szu och The Al Working Group, 2019). Denna

teknik klarar av att lära sig nya saker utifrån insamlade data och är därmed den mest avancerade AI-tekniken hittills. Det är i sin tur viktigt att komma ihåg att denna teknik inte är felfri (Miailhe och Hodes, 2017). Det finns scenarion där människor har följt en GPS så pass strikt att de kört ner i en sjö. Det är därmed viktigt att inte blint lita på algoritmer och komma ihåg vikten av det mänskliga omdömet (Zandan, 2019). Vad många tror kommer bli framtidens AI kallas den tredje generationens AI. Denna generation behandlar hur människor kan bli delaktiga i AI-system (Hansson, 2021, Szu och The Al Working Group, 2019).

Enligt Anders Ynnerman (2018), professor vid Linköpings universitet, får vi ett bättre system om vi inkluderar den mänskliga aspekten. AI kan lösa många problem, men inte alla (Westman Svenselius, 2018). Tekniker inom AI och dess påverkan på politiska och demokratiska processer är exempel på samhällsperspektiv som AI-forskningen måste ta hänsyn till, enligt universitetslektorn Ågren (2019) från Umeå universitet.

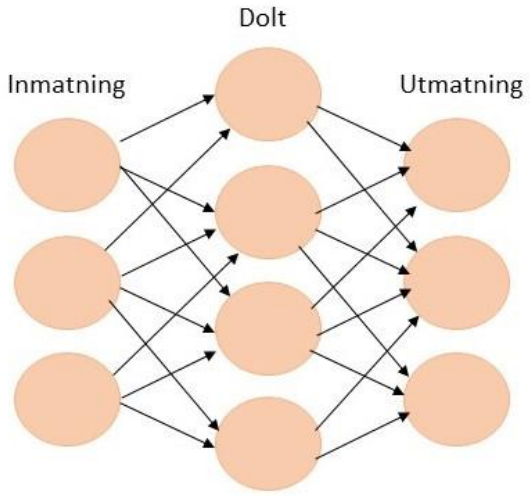
4.1.2 Maskininlärning

Maskininlärning är en underkategori till ämnet artificiell intelligens. Inom maskininlärningsområdet används olika typer av algoritmer som metoder för att använda och klassificera data (Moujahid m.fl., 2018). Det som kännetecknar en maskininlärningsalgoritm är att den kan extrahera mycket information från data utan tidigare kunskap (Xie m.fl., 2020), samt att algoritmens prestanda förbättras i takt med att det förs in mer träningsdata som algoritmen kan anpassas efter (Moujahid m.fl., 2018). Forskning visar att det finns olika typer av maskininlärning. Enligt Albalate och Minker (2011) finns det tre sektioner av maskininlärning; övervakad inlärning (supervised learning), oövervakad inlärning (unsupervised learning) samt förstärkt inlärning (reinforcement learning).

Den övervakade inlärningen är uppdelad i träningsdata och testdata och behöver extern assistans för att fungera (Dey, 2016). Tekniken används för att förbättra en algoritm, genom att algoritmen tränas med en viss datamängd. Utgångspunkten för att använda en övervakad algoritm är att det finns ett ”rätt svar” (Moujahid m.fl., 2018). Den oövervakade inlärningen syftar till att hitta mönster automatiskt från omärkt data (Xie m.fl., 2020). Den är lämplig att använda om det inte finns något ”rätt svar” eller facit på vad algoritmen ska komma fram till (Moujahid m.fl., 2018). Förstärkt inlärning används som en metod för att lära algoritmen lösningen genom att prova sig fram och belöna algoritmen när den sökt sig fram till positiva resultat samt straffa den när den leder till negativa resultat. I detta fall behövs inte data förberedas (Moujahid et al 2018).

Förutom ovan beskrivna sektioner av maskininlärning benämns djupinlärning (deep learning) ofta som en underkategori till maskininlärning. Artificiella neurala nätverk (ANNs) benämns ofta som själva ryggraden till djupinlärning (Kavlakoglu, 2020). ANNs använder sig av flera gömda lager för att skapa algoritmen. Dessa lager skapar en graf med

ett visst djup (se figur 8). Djupet är just det som kännetecknar djupinlärning (Moujahid m.fl., 2018). Neurala nätverk kan vidare klassificeras som antingen övervakad eller oövervakad inlärning beroende på hur algoritmen är skapad och beter sig (Kidong m.fl., 2005).



Figur 8: Hur ett neuralt nätverk konstrueras. Med inmatningslager, dolt lager och utmatningslager. Inmatning går via inmatningslagret, och varje nod ger en utmatning via en aktiveringsfunktion. Utmatningen används som inmatning till nästa dolda lager (Analytics Vidhya, 2014, egen bearbetning).

4.1.3 Optimeringsmetoder

Optimeringsmetoder används inom flera ämnesområden för att hitta den optimala lösningen i ett lösningsrum (De Masellis 2021, personlig kommunikation, Alonso m.fl., 2020). En optimeringsalgoritm exekveras vanligtvis iterativt genom att jämföra flera lösningar tills en optimal lösning kan hittas (IIT madras, u.å.). Val av metod inom optimering beror i de flesta fall på tillämpningen. Därför är det viktigt att definiera problemet som behöver lösas och förslå den matematiska modell som passar problemet, samt införa restriktioner ifall det behövs (Alonso m.fl., 2020).

Optimeringsmetoder används ofta inom AI-området och ett exempel på en vanlig metod är genetic algorithm (GA), som beskrivs mer djupgående i avsnitt 4.2.1. Inom AI-området används optimeringsmetoder ofta inom maskininlärning och datavetenskap, bland annat för att minimera felet av en hypotes med avseende på träningsdata (De Masellis 2021, personlig kommunikation).

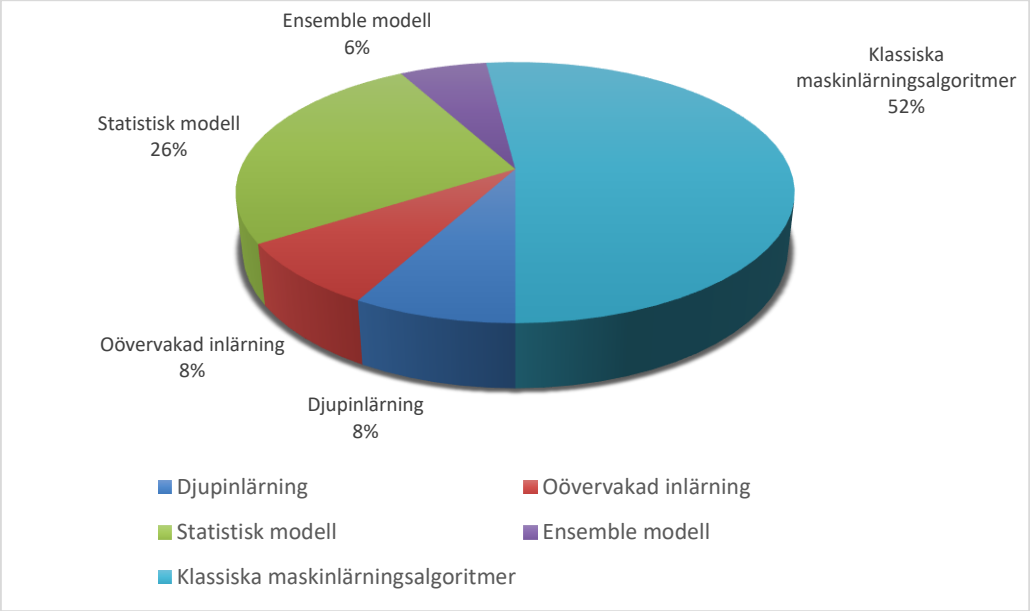
4.2 Järnväg och AI

4.2.1 **Forskning**

European Parliamentary Research Center (2019) har sammanställt en rapport angående hur AI kan användas i transportsektorn. I denna rapport skriver författarna att AI kan bidra till att göra all transport säkrare, renare, smartare och mer bekväm. Med hjälp av AI är det möjligt att identifiera marknadstrender, identifiera risker, minska trafikstockning, minska utsläpp och analysera efterfrågan (Niestadt m.fl., 2019). Liknande slutsatser har Maria Lopez Conde och Ian Twinn (2019) dragit, då de förklarar att AI kan skapa mer säker, effektiv, ekonomisk och ren transport. Vidare beskriver Vinnova (2018) att AI har potential att bidra till ökad kvalitet och effektivitet i den offentliga verksamheten. Det finns stor potential hos AI-lösningar för att bemöta utmaningar inom hållbarhet och samhällsfrågor. AI kan således, enligt artikelförfattarna, bidra till Sveriges möjligheter att uppnå målen i Agenda 2030 (Vinnova, 2018).

Inom AI-området finns ett stort urval av olika typer av algoritmer, där forskning har genomförts i syfte att ta reda på vilka algoritmer som är passande inom transport och järnväg. Maria Lopez Conde och Ian Twinn (2019) beskriver fem exempel på AI-metoder som används inom transportsektorn. Dessa är artificiella neurala nätverk (ANN), artificiella immun system (AIS), suddig logik (FLM), myrkoloni-optimering (ACO) och bikoloni-optimering (BCO). Bland dessa bedömer författarna att ANN är den mest välkända och välanvända algoritmen. Även Abduljabbar m.fl., (2019) beskriver att ovanstående algoritmer är vanliga inom transport, författarna nämner dessutom Genetic algorithm (GA) och Simulated Annaealing (SA).

Enligt Xie m.fl. (2020) är de vanligaste datadrivna metoderna inom prediktivt underhåll på järnvägen klassiska maskininlärningsmodeller (52 %), se figur 9. Näst populärast är statistiska modeller (26 %), följt av oövervakad inlärning (8 %) och djupinlärning (8 %). Den minst använda metoden är ensemble model (6 %). Statistiken angående vanliga maskininlärningsmodeller inom prediktivt underhåll baseras på 109 vetenskapliga artiklar (Xie m.fl., 2020).



Figur 9: Distribueringen av datadrivna metoder inom prediktivt underhåll på järnvägen (Xie 2020, s. 7, egen bearbetning).

För prediktivt underhåll är de mest använda klassiska maskininlärningsmodellerna enligt Xie m.fl., (2020): support vector machine (SVM), ANN och tree-based models. ANN kan som tidigare nämnt klassificeras som djupinlärning. Dessutom kan den klassificeras som övervakad inlärning eller oövervakad inlärning, beroende på hur den är uppbyggd (Lopez Conde, Twinn, 2019). Här har däremot författarna valt att kategorisera ANN som en klassisk maskininlärningsmetod, separat från övrig djupinlärning (8 %).

Tillämpning av maskininlärningsmetoder

I detta avsnitt presenteras ANN, SVM och random forest mer djupgående. Det vanligaste tillvägagångssättet inom djupinlärning är att använda olika typer av ANN (Moujahid m.fl., 2018). Hur ANN är uppbyggt beskrivs i avsnitt 4.1.2. Denna metod kräver sällan förbehandling av data, eftersom den kan lära sig representationen direkt. ANN kan enligt Xie m.fl., (2020) användas för att förutsäga den genomsnittliga hastigheten för försämring och förfall av järnvägsspår. Likaså visar en studie av Moridpour m.fl., (2017) att ANN kan användas för att prediktera försämring av spår för spårvagnar. För att prediktera använder författarna sig av geometriska data, inspektionsdata, belastningsdata samt reperationsdata. Enligt författarna kan ANN användas för att förstå underhållsbehovet hos spårvagnar samt för att reducera operationella kostnader hos systemet (Moridpour m.fl., 2017). Enligt Abduljabbar m.fl., (2019) kan ANN:s även användas för att upptäcka trafikolyckor och för att prediktera trafikförhållanden. För detta används ofta förklarande värden så som flöde, hastighet, väder, distans som indata vid applicering av ANN. I en artikel av Jiang m.fl., (2018) studeras prediktion av förseningar för höghastighetståg genom flera olika metoder, däribland ANN. Att få en exakt prediktion av tågförseningar kan enligt författarna

underlätta för trafikledningens omplanering av tidtabeller och kan förbättra pålitligheten (Jiang, m.fl., 2018).

SVM har blivit ett av standardverktygen inom maskininlärning. Algoritmen är effektiv vid små datamängder och kan hantera icke-linjära karaktärsdrag. Även SVM studeras som metod för prediktion av förseningar i den tidigare nämnda studien av Jiang m.fl., (2018). SVM och dess unika fördelar har dessutom gett upphov till nya möjligheter att upptäcka defekter i järnvägsspår, menar Xie m.fl., (2020). Detta är något även Hu och Liu (2016) åskådliggör i sin studie, då de predikterar spårfel med SVM. Författarnas SVM-modell använder sig av trafikvolym, defektamplitud, hastighet samt andra relevanta faktorer för prediktion. Resultatet av studien visar att SVM kan ge en noggrannhet i prediktion över 70 % (Hu och Liu, 2016). Noggrannhet på 1 visar att prediktionen stämmer perfekt överens med verkligheten, medan en noggrannhet på 0 visar att det är en slumpmässig gissning. I detta fall ger alltså prediktionen en noggrannhet på 0.7. Prediktionen är närmare det korrekta värdet än en slumpmässig gissning (Statsexchange, 2015).

Tree-based models består av flera olika typer av algoritmer, exempelvis random forest. Random forest är en klassificeringsmetod som använder sig av flera olika beslutsträd. Beslutsträden skapas genom slumpmässigt bestämda variabler från datauppsättningar och utifrån dessa väljs sedan det optimala trädet. Santur m.fl., (2016) anser att random forest är en av de mest användbara klassificeringsalgoritmerna för feldiagnos eftersom den fungerar bra vid stora datauppsättningar, visar bra resultat vid förlorade data samt ger hög noggrannhet. En nackdel med metoden är i sin tur att den kräver stor minneskapacitet (Santur m.fl., 2016).

Tillsammans med ANN och SVM studeras dessutom random forest och multiple linear regression (MLR) som metod för prediktion av förseningar för höghastighetståg i artikeln av Jiang, m.fl. (2018). Resultatet från studien visar att random forest presterar bättre och med högre noggrannhet än övriga modeller (Jiang, m.fl., 2018).

Tillämpning av optimeringsmetoder

Här presenteras ACO, AIS och GA mer djupgående. ACO beskrivs vara användbar inom transport av Maria Lopez Conde och Ian Twinn (2019) samt av Abduljabbar m.fl. (2019). Denna algoritm simulerar myrors egna beteende. Myror använder sig av feromoner vilket hjälper dem att hitta den kortaste vägen mellan två punkter (mellan bo och föda). ACO bygger på myrornas repetitiva struktur vid sökande av föda, genom konstgjorda "myror" (Lopez Conde, Twinn, 2019).

Att hitta den mest effektiva och kortaste vägen i ett nätverk, kan kallas ett traveling salesman problem (TSP). TSP bygger på att en försäljare ska hitta den kortaste och mest effektiva vägen från sin hemstad till sina kunder, och sedan ta sig tillbaka till sin hemstad. ACO är effektiv för simulering av stora nätverk inom kollektivtrafiken, vilket även kan ses som TSP (Lopez Conde, Twinn, 2019, Stützle och Dorigo, 1999). Metoden kan tillika

användas för att optimera tidtabeller för tåg (Ghoseiri, 2006). I en studie av Sama m.fl., (2016) har ACO använts för att i realtid planera tidtabeller och resrutter i ett järnvägsnätverk. Metoden testades på två fallstudier i Frankrike, Lille terminal stationsområdet och Rouenlinjen. Studien bidrog till förbättringar gällande omplanering av resrutter för tåg i realtid med cirka 22 % för Rouen linjen samt cirka 56 % för Lille terminal station (Sama m.fl., 2016).

AIS kan liknas vid ett mänskligt immunsystem. Algoritmen kan snabbt upptäcka "fel" som ligger utanför dess egenskapsrymd (Greensmith, 2014). Inom trafikområdet har AIS använts för att skapa system för att reglera trafik i realtid, när störningar uppstår i trafiken och allmänt sätt inom området trafikkontroll (Mnif m.fl., 2018). AIS kan vidare användas för att upptäcka fel innan de uppstår. Inom järnvägsbranschen är ett exempel på applikationsområde att tidigt upptäcka fel hos elmotorer (Mor-Yaroslavtsev, 2009), vilket är ett exempel på prediktivt underhåll.

GA används för att hitta en exakt eller approximerad lösning till optimering- och sökproblem. GA är baserad på arvsmutation och urval, två aspekter av evolutionär biologi (Kumar m.fl, 2010). I en studie av Tormos m.fl., (2008) har GA använts för att bemöta planeringsproblem inom järnvägen. Att optimera tågtabeller på järnvägen med endast ett spår är känt för att vara svårt med avseende på konflikter i planeringen. I denna studie optimeras tågtabeller för nya tåg på linjer där spåren redan är ockuperade av andra tåg. Tågtabellerna för nya tåg skapas med hjälp utav GA, och testas på verkliga exempel genom data från järnvägen i Spanien. Resultatet från studien visar att GA är en lämplig metod för att undersöka problematik kring planering av tåg, och bidrar med en välfungerande lösning på kort tid (Tormos m.fl., 2008).

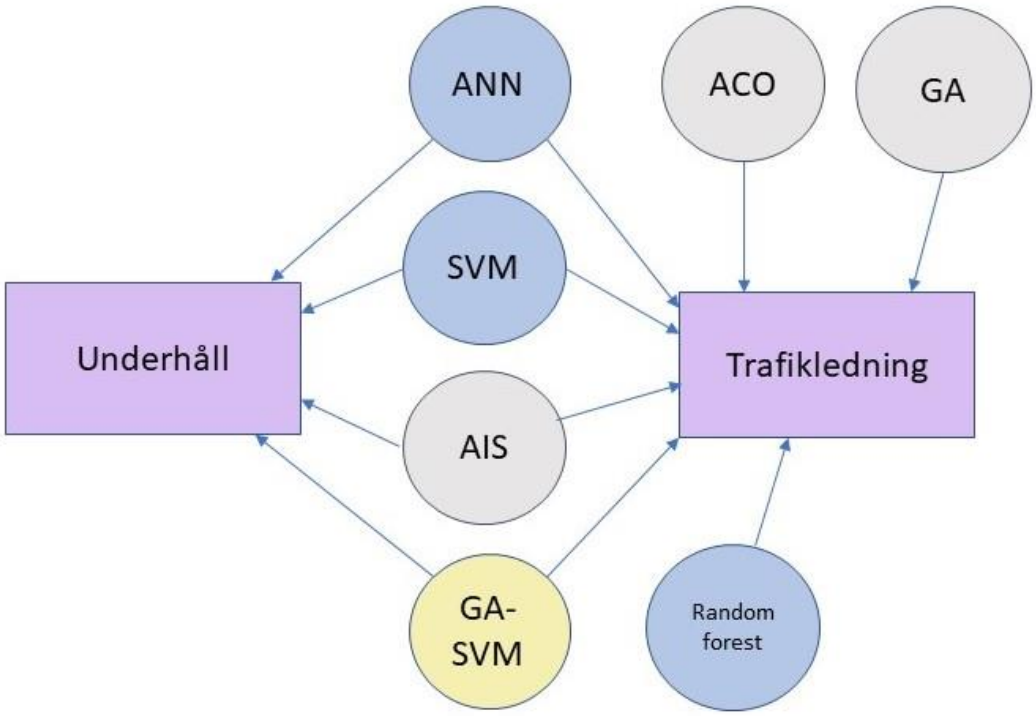
Tillämpning av ensemblemodeller

För att förbättra prestandan hos maskininlärningsmodeller använder många forskare en ensemblemodell. Ensemblemodellen är en avancerad modell som skapas genom att kombinera flera basmodeller. Denna metod kan minska bias eftersom resultaten är mindre beroende av en specifik modell. Metoden kräver däremot större lagringsutrymme och har en större beräkningskostnad än vid användandet av endast en modell. Den ensemblemetod som presenteras här är GA-SVM.

En ensemblemodell som används i flera studier är GA-SVM. GA-SVM är en kombination av SVM och GA (Chen, 2009). Chen (2009) har använt sig av GA-SVM för att prediktera passagerarvolym på järnvägen. I denna ensemblemodell används GA för att bestämma träningsparametrar för SVM. Resultatet från studien tyder på att GA-SVM metoden kan leda till högre noggrannhet än ANN gällande att förutsäga passagerarvolym (Chen, 2009). På liknande sätt har Falamarzi m.fl., (2019) använt GA-SVM för att prediktera nedbrytning och försämring av järnvägsspår. Denna studie visar att metoden GA-SVM ger en mer exakt prediktion än användning av enbart SVM (Falamarzi m.fl., 2019).

Summering av metoder och användningsområden

I figur 10 redovisas en summering av ovan beskriva metoder och algoritmer och dess koppling till underhåll respektive trafikledning. Detta sammanfattar potentialen utifrån forskning som används i denna studie, men andra studier kan eventuellt visa på andra kopplingar mellan metoder och användningsområden.



Figur 10: Modell över två användningsområden (underhåll och trafikledning) samt vilka algoritmer och metoder som kan vara användbara inom respektive område. Algoritmer och modeller redovisas i de runda figurerna med pil till respektive användningsområde. Blå figurer representerar maskininlärningsmodeller, grå figurer optimeringsmetoder och den gula figuren en ensemblemodell.

4.2.2 Svenska forskningsprojekt inom AI

I Sverige pågår forskning kring järnvägen på flertalet institutioner, företag och högskolor, till exempel på Luleå tekniska universitet (LTU), framför allt genom LTU järnvägstekniskt Center (JVTC). Ett exempel på ett LTU-drivet forskningsprojekt är en avancerad AI-fabrik som ska automatisera förebyggande underhåll och reparationer inom järnvägen. Fabriken grundar sig i avancerad beräkningsteknik som bygger på AI och öppna och säkrade delningar av algoritmer och data (Höök, 2020).

Ramin Karim, projektledare och professor vid drift- och underhållsteknik vid LTU framhåller: “Genom AI-fabriken kan järnvägsaktörerna få möjlighet att se in i framtiden

och göra en precisare planering och ett effektivare drift- och underhållsarbete av hela järnvägssystemet” (Höök, 2020).

AI-fabrikens forskare vill påskynda en digitalisering av järnvägen för att bidra till mer effektiv, hållbar, säker, pålitlig och punktligt järnvägstrafik. I hela landet ska verkliga försök göras för att digitalisera järnvägen, med start på Malmbanan och Haparandabanan (Höök, 2020).

Trafikverket driver och finansierar forskning i syfte att bygga kunskap och nya lösningar för ett hållbart samhälle (JBS 2020). Under 2019 genomförde Trafikverket Forskning och Innovation fem olika testcase, för att under verkliga förhållanden kunna testa och lära kring olika moment som är unika vid utvecklingen av Big Data och AI applikationer. Två av dessa case kallas Projekt AI och utfördes i samarbete med Linköpings universitet. Målet var att förbättra trafikinformation med hjälp av AI-algoritmer för realtidsprognoser gällande enskilda trafikstörande händelsers varaktighet och enskilda tågindividers ankomsttid. Under projekten har algoritmer baserade på maskininlärning använts och implementerats (Support Vector Regression) och siktet har sedan varit att övergå till användning av neurala nätverk. Möjligheten att göra bra prognoser utifrån data beror på ifall relevanta indata är av god kvalitet. Under projektens gång har det visat sig vara en utmaning att få tillgång till dessa indata. Problematiken är något som delas med många andra digitaliseringsinitiativ på Trafikverket (Lidberg m.fl., 2019, s. 22–25)

Ett annat projekt som Trafikverket driver heter AIRT (AI-baserad realtidsprognostisering av Trafikinformation), där de använder AI för analys av data. Projektet utförs via Linköpings universitet och syftar till att stärka förmågan att förutse störningars längd och för att ge en korrekt förutsägelse för när tåg kommer in till station, för att på så sätt förbättra trafikinformationen. I projektet används väderinformation från järnvägen för att kunna ge mer korrekta prognoser. Genomförandeperioden sträcker sig från maj 2020 till december 2022 (Trafikverket Forskning och Innovation u.å.).

Företaget D-rail är ytterligare en organisation som skapar AI-lösningar för järnvägen. Mer specifikt tillhandahåller D-rail lösningar som samlar in statusdata för att skapa trendanalyser, automatiserade larm samt ge tillståndsinformation för ATC/ ERTMS-baliser. För att samla in data har D-rail skapat en sensor som kan installeras direkt på tåget. Därefter kan användare tillgå informationen som samlas in från sensorn online. D-rail har flertalet projekt igång där de samarbetar med olika företag och organisationer inom järnvägsbranschen (D-rail, u.å.-a). Bland annat samarbetar D-rail sedan 2019 med MTR, som har installerat D-rails övervakningssystem på tre av deras pendeltåg (D-rail, u.å.-b).

4.2.3 Tillämpningar av AI internationellt

Inom transport har AI-applikationer utvecklats och applicerats på många olika sätt inom flera områden, till exempel inom kollektivtrafik (Abduljabbar m.fl. 2019). I Panama har

Alstom använt artificiell intelligens för att hantera passagerarflöden i tågtrafiken, för att säkerhetsställa social distansering under covid-19 pandemin. Tekniken, som kallas Mastria, började användas i slutet av 2019 och förser idag operatörer och trafikmyndigheter med förbättrade passagerarflödesverktyg. Mastria bygger på djupinlärning och ANN. Mastria extraherar data från externa information- och kontrollsystem genom säkra internetkopplingar. Lösningen möjliggör för operatörer att få en överblick över passagerarflöden på tåg och stationer, samt möjligheten att prediktera framtida flöden. Detta möjliggör även för operatörer att anpassa frekvens och kapacitet på tåg, samt antal tåg i trafik. Tekniken kan förutspå trafikflöden 30 minuter fram i tiden, vilket möjliggör korrigerande åtgärder samt minskade väntetider för passagerare med 12 % (Alstom, 2020).

Swiss Federal Railway (SBB) startade ett projekt tillsammans med CSEM (Swiss research and development center) i syfte att minska antal fysiska besök på spåren och därmed öka säkerheten. Som ett resultat från detta samarbete används nu djupinlärning för att upptäcka fel på spåren samt för att minska antal fysiska besök på plats. Operatören använder sig av kameror samt sensorer på tågen som fotar spåren samtidigt som tåget rör sig i upp till 160 km i timmen. SBB fotograferar spåren i olika väderförhållanden: snö, is, regn, med löv på spåren och så vidare, för att samla in data. De använder sig sedan av generative adversarial networks (GANs), som består av djupinlärning i form av två neurala nätverk. Denna teknik används för att hitta avvikelser bland järnvägskomponenter (Yao, 2018).

MTR i Hong Kong har använt AI i kollektivtrafiken för att bland annat planera, schemalägga och optimera nattliga underhållsarbeten på järnvägsspåren. AI-tekniken möjliggör för MTR att effektivisera planering och omplanering, samtidigt som den optimerar resurstilldelningen för att maximera antalet utförda tekniska arbeten. AI används även för att se ifall det finns någon konflikt mellan nya underhållsarbete och tidigare godkända arbeten (Chun och Suen, 2014). Sedan år 2013 har denna teknik använts dagligen inom Hong Kongs tågtrafik, både inom pendeltågstrafik och snabbtåg (Chun, u.å.).

AI tekniken hos MTR i Hong Kong bygger på en AI-motor, som är designad som en skalbar molntjänst. AI-motorn är uppbyggd av två planeringsalgoritmer. Förutom algoritmerna bygger systemet dessutom på en regelmotor. Denna bidrar med flertalet lagar och begränsningar, så som säkerhetsföreskrifter, operativa riktlinjer och lagstadgade krav som AI-motorn måste hålla sig till (Chun och Suen, 2014)

4.3 Analysmodell

4.3.1 **Utmaningar**

I tabell 3 presenteras sex utmaningar för implementering av AI. Denna tabell baseras på en artikel av International Association of Public Transport (UITP) (2020) och en rapport av

JBS (2020). Tabellen är en sammanslagning av utmaningarna som identifierats av de olika aktörerna. UITP:s utmaningar gäller för kollektivtrafik internationellt, medan JBS utmaningar gäller den svenska järnvägen. Utmaningarna används som grund för analysmodellen.

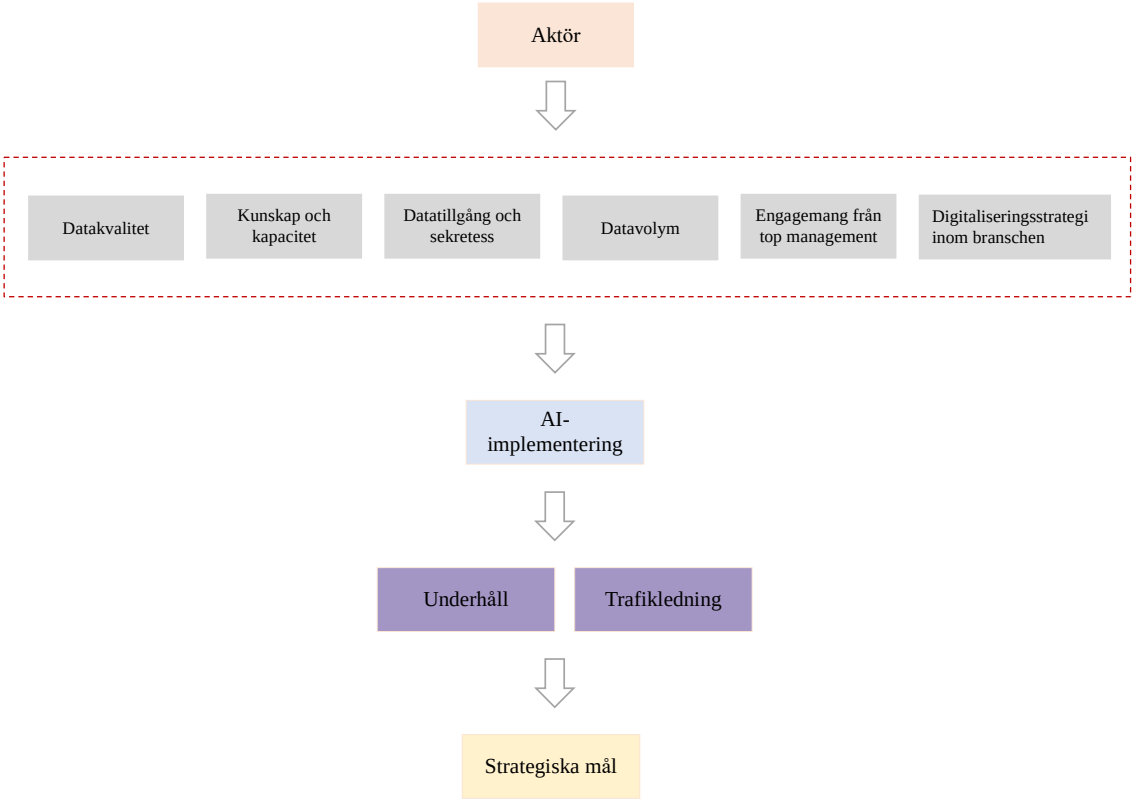
Tabell 3: Här redogörs sex utmaningar för implementering av AI inom transport.

Utmaning	**Beskrivning**
Datakvalitet	Den data som finns tillgänglig måste vara av god kvalitet. Data måste vara förenlig och utan fragmentering (UITP, 2020). I dagsläget är många system inom järnvägen föråldrade och den data som produceras är inte gjord för dagens behov (JBS, 2020).
Kunskap och kapacitet	Aktören behöver ha god kapacitet för att möjliggöra förändringar. Aktörens anställda måste även inneha den kunskap som krävs (UITP, 2020).
Datatillgång och sekretess	Operatören måste komma över problematik gällande datatillgång och sekretess. Inom järnvägsbranschen behövs en förståelse för betydelsen av data samt kontroller över datamängder och hur dessa hanteras. Synen på de restriktioner som finns gällande sekretess och säkerhetsklassade data hindrar tillgången på data (JBS, 2020).
Datavolym	För att använda data finns dessutom krav på tillräcklig datavolym. Det måste finnas tillräckligt stora data-set för att kunna dra nytta av AI (UITP, 2020).
Engagemang från top management	Det behövs ett engagemang från top management för att driva igenom de processer och kulturella förändringar som krävs (UITP, 2020). För att lyckas med frågor kopplade till nya arbetssätt, ny teknik etcetera behöver högsta ledningen vara påkopplad och drivande (JBS, 2020).
Digitaliseringsstrategi inom branschen	Det måste finnas en gemensam digitaliseringsstrategi inom branschen. Varje aktör måste jobba aktivt med digitaliseringens möjligheter och utmaningar. Med digitaliseringen kommer även en högre grad av kopplingar mellan aktörer inom branschen, vilket gör det extra viktigt för varje aktör att fundera över hur digitaliseringen ska möjliggöra en förflyttning av järnvägsbranschens arbete (JBS, 2020).

4.3.2 **Analysmodell**

Baserat på ovanstående avsnitt kring utmaningar för implementering av AI inom transport, har en analysmodell skapats (se figur 11). Denna modell representerar de steg som aktören måste ta sig igen för att med hjälp av AI kunna nå strategiska mål. Analysmodellen används som ramverk till studien samt som hjälpmedel för att besvara frågeställningarna. Framför allt användes modellen som stöd för att skapa frågor till intervjuerna som matchar

frågeställningarna. Vidare görs en återkoppling till analysmodellen i diskussionen, där den ställs emot resultatet.



Figur 11: Analysmodell för implementering av AI inom underhåll och trafikledning, för att nå strategiska mål.

De sex utmaningarna som presenterats i tabell 3 illustreras innanför de rödstreckade området i figuren. Området kan ses som en barriär som aktören måste förbi för att kunna implementera AI. Denna del av analysmodellen representerar den andra och tredje frågeställningen: *Vad finns det för utmaningar vid nyttjandet av AI för att nå strategiska mål?* och *Vad krävs för att överkomma de utmaningar som finns?* Den andra sidan av barriären som innehåller stegen: AI-implementering, underhåll/trafikledning (på grund av studiens avgränsning) och strategiska mål, vilket används för att besvara den första frågeställningen: *Vad finns det för potential för användandet av AI i järnvägsbranschen för att nå strategiska mål?* Detta undersöks utifrån forskning om AI (avsnitt 4.1) tillsammans med de mål som identifierats inom Stockholms pendeltågstrafik (avsnitt 3) samt insamlat resultat.

5. Metod

I detta avsnitt presenteras studiens metodval. Avsnittet inleds med en beskrivning av den kvalitativa studie som har genomförts. Vidare presenteras litteraturstudien där en textanalys har utförts. Sist presenteras den empiriska datainsamlingen, som har gjorts i form av en semistrukturerade intervjuer. Gioia-metoden presenteras sedan, som har använts för att analysera resultatet från intervjuerna.

5.1 Kvalitativ studie

Ett centralt mål med denna studie är att skapa en djupare förståelse för digitaliseringen och den potential som finns kring implementering av AI inom järnvägsbranschen. Med andra ord är målet att undersöka implementering och möjligheten av ett nytt fenomen. Studiens syfte har uppnåtts genom en kvalitativ metod, som försöker förstå ett problem inifrån (Enerstvedt, 1971). Ett induktivt förhållningssätt – ”upptäcktens väg” – har därtill använts. Detta har gjort att vi som författare har kunnat vara explorativa: vi har inte haft en tydlig bild över vad vi vill komma fram till utan utforskat detta under arbetets gång.

För att skapa och återge data på ett autentiskt sätt har data samlats in systematiskt. Holme och Solvang (1997, s.51–58) menar att teorier måste bygga på en systematisk insamling av empiriska data och att teoriutveckling är en systematisk process, där ny teori bildas i takt med att empiriskt material samlas in. För att skapa en systematik i insamlandet av data har den egenframtagna analysmodellen använts (se avsnitt 4.3).

5.2 Litteraturstudie

5.2.1 **Textanalys**

En textanalys betonar värdet av en datainsamlingsprocess där texter sammanförs och en uppfattning kring ett ämne byggs upp, för att besvara syfte och frågeställningar utifrån detta (McKee, 2003). Vidare beskriver Mckee (s. 8, 2003) “Textual analysis is a way for researches to gather information about how other human being makes sense of the world”.

Vidare är en textanalys ett vetenskapligt och objektivt förhållningssätt till använda källor. För att skapa objektivitet ställdes så många infallsvinklar som möjligt emot varandra. Om något uppfattades som vinklad fakta redovisades och förklarades detta i text (Walliman, 2006). I denna studie tydliggörs det i den teoretiska bakgrunden och resultatet ifall författarnas yttranden är något de själva menar eller ifall det är fakta. Genom att vi skrev ”anser författarna” eller ”tycker respondenterna” tydliggjordes att det som skrivits är något de själva påstår (Muca, 2017).

5.2.2 Fallstudie

Detta arbete har utförts i form av en fallstudie och frågeställningarna har därmed applicerats på ett särskilt fall. Fallet som valdes för denna studie var Stockholms pendeltågstrafik. En fallstudie användes eftersom det är en lämpad strategi att använda när man önskar undersöka ett fenomen i en verklig kontext (Yin, 2014). Förhoppningen var att kunna ta fram konkreta utmaningar, överbryggningar till utmaningar och potential med AI inom en specifik del av järnvägsbranschen för att uppnå strategiska mål. Fallstudien ger en djupare förståelse för vad effekterna blir i en viss situation eller process (Saunders m.fl., 2016, s.184–185).

Eftersom järnvägssystemet är ett stort och komplex system bedömdes det svårt att fördjupa sig i och analysera systemet i sin helhet. Valet av Stockholms pendeltågstrafik som fallstudie berodde på att pendeltågstrafiken i Stockholm har tätt med avgångar och kräver stor kapacitet, då många människor använder sig av pendeltågstrafiken dagligen. Ifall en störning sker hos pendeltågen kan det leda till störningar i hela järnvägssystemet. Järnvägsspåren i Stockholmsområdet har därmed en central roll för hela järnvägssystemets funktion.

5.2.3 Genomförande

I detta arbete är litteraturstudien uppdelad i två delar. Den första delen är avsedd till att ge en översiktlig bakgrund om järnvägsbranschen samt områdena underhåll och trafikledning. Den andra delen av litteraturstudien beskriver AI och metoder inom AI som forskare och andra länder implementerat inom järnvägsbranschen. Vetenskapliga artiklar, hemsidor och böcker har använts som källor. Vetenskapliga artiklar och rapporter har vidare använts som källa för att skapa validitet och trovärdighet. Genom att ställa flera vetenskapliga artiklar mot varandra, beskrivs flera perspektiv och synvinklar på ämnesområdet.

För att skapa ett ramverk som genomsyrar rapportens struktur och innehåll har en analysmodell för modelluppfyllelse utformats. Denna modell gör det lättare för läsaren att följa med i rapportens upplägg och innehåll. Modellen bygger på flertalet källor samt vår uppfattning av aspekter och problem som är viktiga att belysa, kopplat till syfte och frågeställningar. Det görs en återkoppling till analysmodellen i diskussionen, där den modifieras utifrån resultatet och den svenska kontexten.

5.3 Empirisk datainsamling

5.3.1 Semistrukturerad intervjumetodik

Examensarbete bygger på kvalitativa intervjuer. Intervjuerna användes för att producera nya fakta kring ämnesområdet som inte hade kunnat fås på annat sätt. För detta har en semistrukturerad intervjumetodik använts. Intervjumetodiken användes för att få en

beskrivning av den verkliga världen för att möjliggöra tolkning och för att skapa förståelse för det studerade ämnet. Denna typ av intervjumetodik är av öppen karaktär, med förberedda frågor samt möjlighet till eventuella följdfrågor (Kvale, 2007). Den öppna karaktären gjorde det möjligt att ställa nya relevanta frågor som kunde dyka upp under intervjuns gång. Intervjuerna gav oss en dagsaktuell bild av användningen av data och AI i Sverige samt bidrog med ny kunskap och andra perspektiv än de som ges via artiklar, handlingar och information från berörda aktörers hemsidor.

Det finns flertalet nackdelar med semistrukturerade intervjuer. En av dem är att metoden kan leda till problematik vid systematisk jämförelse och utvärdering av intervjuer. Kunskapen som produceras påverkas dessutom av relationen mellan respondenten och de som intervjuar. Dessa kritiska aspekter har vi haft i åtanke vid bearbetning av resultatet (Kvale, 2007).

5.3.2 Val av respondenter samt genomförande

I denna studie har tio intervjuer genomförts med respondenter som arbetar för centrala aktörer inom järnvägen kopplat till pendeltågstrafiken, samt forskare och experter inom området, se tabell 4. Från varje central aktör inom pendeltågstrafiken har minst två personer intervjuats. Valet att intervjua tio personer beror på viljan att få en diversitet och generaliserbarhet i svaren, och är ett passande antal för ett examensarbete i denna storlek. Vid utförande av intervjuer har snöbollsurval använts. Denna metod går ut på att personer i urvalet rekommenderar nya personer som skulle kunna vara lämpliga för studien. På detta sätt skapas en snöbollseffekt, där nya personer rekommenderas, tills urvalet enligt forskarna är tillräckligt stort. Fördelen med denna metod är att det är enkelt att hitta nya personer, då tidigare respondenter ofta kan bistå med passande personer för studiens syfte. Det är tillika enklare att få personen i fråga att ställa upp på intervju då den rekommenderas av en kollega eller bekant (Denscombe, 2014, s. 42-43).

Under intervjuerna ställde en av oss frågor, medan den andra antecknade. Båda hade möjlighet att ställa följdfrågor under intervjuernas gång. Både under genomförande av intervjuer samt när informationen behandlas är det viktigt att ha etiska aspekter i åtanke. Det är enligt Walliman (2006) viktigt att fråga om inspelning får göras, samt förklara hur denna information kommer användas. Detta är viktigt att göra så att respondenterna kan avgöra vad de vill delge under intervjun. Innan intervjuerna frågade vi således respondenterna ifall vi fick spela in intervjun. De genomförda intervjuerna transkriberades därefter, för att inte missa någon relevant information. En av respondenterna på Trafikförvaltningen ville dock inte spelas in, så från denna intervju togs det endast anteckningar.

Intervjuerna genomfördes digitalt via Microsoft Teams[3] på grund av rådande Covid-19 pandemi. På grund av stundtals dålig internetuppkoppling föll vissa ord bort i transkriberingen. Således har det digitala intervjuformatet möjligen påverkat intervjuernas validitet. Samtidigt fanns fördelen att intervjuerna kunde genomföras vart som helst, vilket kan ha haft positiv inverkan på hur bekväma respondenterna kände sig. Det är enligt Kvale (2007) viktigt att intervjupersonerna känner sig bekväma, för att berätta privata händelser för allmänt intresse. Att tjänstemän är skyldiga att framställda sin arbetsgivare på ett ansenligt sätt kan också ha påverkat den fakta vi fick från intervjuerna. Samtidigt förtydligades det att intervjuerna var anonyma vilket innebar att inga namn skulle delges, utan endast aktörsnamn. Intervjuerna genomfördes under cirka 30–60 min, se tabell 4 för exakt tid. Eftersom intervjun med respondent 8 inte spelades in återges en ungefärlig tid. Längden på intervjuerna berodde till stor del på längden på respondenternas svar samt antal följdfrågor.

Tabell 4: Respondenter med tillhörande aktörsnamn och inriktning.

Respondent	**Aktör**	**Inriktning inom järnväg**	**Tid (min)**
1	Lunds tekniska högskola	Forskning trafikledning	40
2	Luleå tekniska universitet (LTU)	Forskning AI	45
3	MTR pendeltåg	Trafikplanering	36
4	MTR Tech	Trafikledning fordon	46
5	PA consulting	Järnvägsbranschens samverkansforum	47
6	Trafikförvaltningen	Trafikinformation	30
7	Trafikförvaltningen	Strategi system	27
8	Trafikförvaltningen	Strategi spårfordon	Cirka 30
9	Trafikverket	Underhåll Teknik och miljö	49
10	Trafikverket	Underhåll Teknik och miljö	60

[3]Microsoft Teams är en kommunikationsplattform som används för videokonferenser, möten och samtal (Microsoft, 2021).

5.3.3 Intervjuanalys

Vid analys av intervjudata användes Gioia-metoden. Gioia metoden är ett systematiskt tillvägagångssätt för kvalitativ och induktiv forskning. Vidare bygger Gioia-metoden på grundad teori. Grundad teori är en vetenskaplig metod för att generera nya teorier. I grundad teori är datainsamlandet inledningsvis öppet och påverkas då ej av förutfattande föreställningar. Efter hand som materialet analyserar växter teoretiska idéer fram och påverkar fortsatt urval och insamlande av data (Nationalencyklopedin, u.å.-c). Genom att använda Gioia-metoden analyseras intervjudata konsekvent (Gioia m.fl., 2013).

För att analysera data enligt Gioia m.fl., (2013) behövs först en datastruktur. Denna datastruktur bygger på tre steg:

1. *Skapa första ordningens kategorier och andra ordningens teman*
2. *Skapa första ordningens koncept*
3. *Generera andra ordningens överliggande dimensioner*

Första ordningens kategorier skapades genom att först gå igenom intervjuerna och transkriberingarna flera gånger, för att förstå dess sammanhang och djup. Efter att ha gått igenom transkriberingarna flera gånger, fetmarkerades nyckelsvar och anteckningar togs. Nyckelsvaren sorterades i färg utefter studiens frågeställningar. Det är möjligt att hitta cirka 50 till 100 kategorier baserat bara på 10 intervjuer. Detta kan anses vara överväldigande, men genom att jämföra kategorier och hitta likheter går det att reducera antal kategorier till ett mer hanterbart antal. Baserat på funna kategorier kunde andra ordningens teman urskiljas. Dessa teman bygger på ifall det finns djupare strukturer och koncept bakom kategorierna som bistår till att förklara fenomenet och syftet som undersöks (Gioia m.fl, 2013). Till exempel identifierades teman som *AI potential inom flera områden, stora volymer data, saknas kunskap och kompetens* och *köpa lösningar externt.*

När teman hade skapats undersöktes koncept, som kan underlätta för att förklara de fenomen som har observerats. Särskilt fokus ligger på begynnande begrepp som inte verkar ha adekvata teoretiska referenser i den befintliga litteraturen. Ett antal första ordningens koncept skapas för varje tema (Gioia m.fl, 2013). Bland annat *goda relationer inom järnvägsbranschen, gammalmodiga regelverk, säkerhetsproblematik vid delning av data, överordnad digitaliseringsstrategi* och *anställ mer kompetent personal.*

Koncept och teman gjorde en grund till andra ordningens överliggande dimensioner. En överliggande dimension för varje frågeställning identifierades (Gioia m.fl, 2013). Dessa är *mer attraktiv och effektiv verksamhet, komplext system som är svårt att förändra, vilja* och *satsningar och initiativ.*

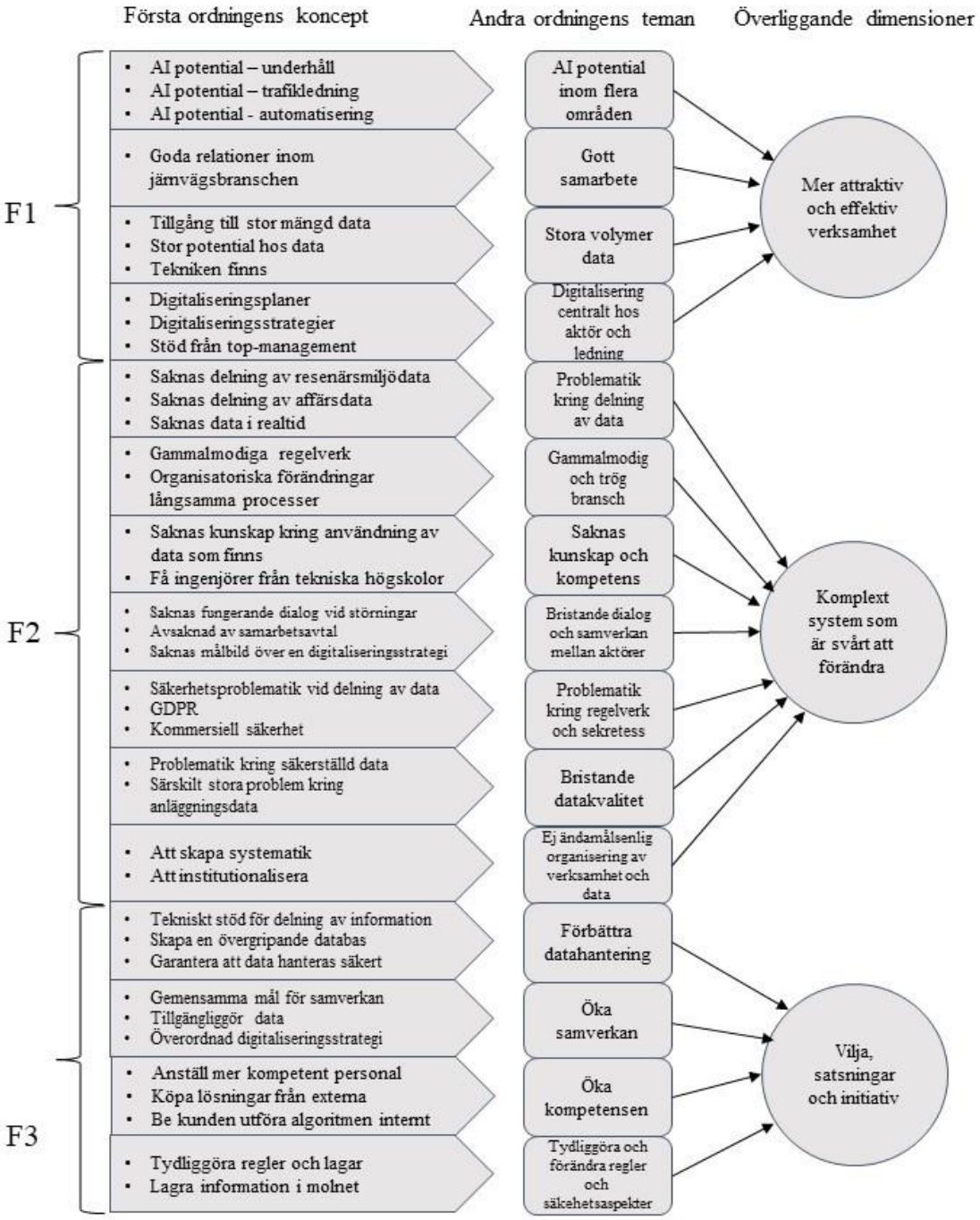
När dessa tre steg var genomförda hade en bas för datastrukturen skapats. Därefter gjordes en jämförelse av data, teman, koncept och dimensioner och relevant litteratur. Utifrån denna analys kunde teorier grundas och skrivande av resultat genomföras (Gioia m.fl, 2013). Se figur 12 i avsnitt 6.1 för färdigställd datastruktur.

6. Resultat

I detta avsnitt presenteras resultatet utifrån intervjuerna. Inledningsvis, i avsnitt 6.1., presenteras datastrukturen. Underrubrikerna i kommande avsnitt struktureras efter teman i datastrukturen. I avsnitt 6.2 presenteras resultatet utifrån frågeställning ett kring potentialen hos AI. I 6.3 presenteras frågeställning två angående utmaningar och i 6.4 frågeställning tre gällande att överkomma dessa utmaningar. Se tabeller i Bilaga 1 för citat kopplat till respektive frågeställning.

6.1 Datastruktur

I figur 12 redovisas datastrukturen baserat på resultatet från intervjuerna. Datastrukturen är uppbyggd på Gioia-metoden (se avsnitt 5.3.3) För varje frågeställning (F1, F2, F3) finns flera koncept med tillhörande teman. För F1 identifierades fyra teman, för F2 identifierades sju teman och för F3 identifierades fyra teman. Baserat på dessa teman skapades en överliggande dimension till varje frågeställning.



Figur 12: Datastruktur med koncept, teman och överliggande dimensioner. F1 står för frågeställning ett, F2 för frågeställning två och F3 för frågeställning tre. Flera koncept sammankopplas till ett tema. Teman kopplat till respektive frågeställning skapar en överliggande dimension (se pilar från teman till dimensioner).

6.2 AI potential inom järnvägsbranschen för måluppfyllelse

F1: Vad finns det för potential för användandet av AI i järnvägsbranschen för att nå strategiska mål och vilka metoder inom AI kan i så fall vara användbara?

Ovanstående frågeställnings övergripande dimension är att det skapas en *mer attraktiv och effektiv verksamhet.* Fyra andra ordningens teman har identifierats, som resulterar i den övergripande dimensionen. Dessa är: *AI-potential inom flera områden, gott samarbete, stora volymer data* och *digitalisering centralt hos aktör och ledning*. I tabell 1 i Bilaga 1 visas en summering av teman med exempel på citat tillhörande respektive tema.

6.2.1 **AI potential inom flera områden**

Alla respondenter kan se potential för AI inom Stockholms pendeltågstrafik och inom järnvägsbranschen i sin helhet. Nio av respondenterna gav exempel på flertalet områden som de ser potential för inom AI-området. Respondent 10 från Trafikverket beskriver att det hen tror att det finns en enighet i branschen gällande AI:s potential.

Respondenterna beskriver främst potential inom trafikledning och underhåll. Inom trafikledningsområdet framkommer det från fyra respondenter att det finns potential för AI att förbättra processer för tidtabellplanering, trafikinformation, resenärsinformation, trafikplanering och för att skapa beslutsunderlag för investeringar. Inom detta område diskuterar respondent 1 och respondent 6 även potentialen för användning av AI på realtidsdata i trafikledningssammanhang. Respondent 1 menar att det är möjligt att ge prognoser i realtid, ifall realtidsdata finns tillgänglig. Hen menar att det då finns möjlighet att vägleda resenärer vid förseningar, genom att exempelvis delge ifall det är värt att vänta ut förseningen eller ifall resenären ska använda ett alternativt transportmedel.

Dessutom menar respondent 1 att processer som vanligtvis är beräkningstunga kan utföras med maskininlärningsmetoder istället för traditionell optimering. Inom underhållsområdet uppfattade respondenterna 2, 4, 5 och 7 att det finns potential för prediktivt underhåll och planering av underhåll efter årstider. Det framkommer från både respondent 7 och respondent 4 att det generellt finns en vilja att arbeta mer med prediktivt underhåll. Respondent 4 från MTR Tech beskriver potentialen med prediktivt underhåll i pendeltågstrafiken, enligt hen:

> *”Att vi kan utgå från indikationer och varningar istället för att vänta tills att någonting händer eller att vagnen har rullat så långt att det nu blev dags enligt schemat. Det är väl den stora potentialen. Att jobba prediktivt är min stora drivkraft. /…/”*

Det var endast en respondent som kunde uttala sig gällande lämpliga AI-metoder att använda sig av inom järnvägsbranschen. Respondent 2 från LTU menar att hen inom ett av sina användningsfall (på engelska use case) inom AI-fabriken använder Alexanet som

är en metod inom området ANN, för att ge information om tillstånd inom driftunderhållsområdet. Hen berättar också att AI som metod passar bäst för repetitiva uppgifter, som till exempel optimering. Vidare beskriver hen att AI som metod generellt har stora fördelar gentemot andra alternativ. Hen menar att AI kan bidra till att skapa en mer effektiv drift och underhållsprocess och att en följd av detta blir ökad hållbarhet. Respondent 2 menar att AI skapar mycket värde, men att metoden inte är felfri. Dagens AI saknar, enligt respondent 2, en kreativ sida. Det är fortfarande människan som måste tänka ut vad som ska uppnås. Hen beskriver att AI fungerar bäst för repetitiva uppgifter såsom optimeringsrelaterade uppgifter. Dessutom beskriver respondent 2 att AI-metoder i vissa fall fungerar sämre än metoder inom klassisk statistik:

> *Sen är det en viktig grej i det här, man får inte glömma det vi kallar classic statistics. Det är inte så att man måste ha samma hammare till alla problem. Alla pratar om AI men en hel del av de analysproblemen kan lösas med den vanliga matematiken och statistiken/…/. och det har vi sett i fabriken att vi faktiskt har vissa problem, där den klassiska gav bättre precision, model precision. Bättre precision än AI-algoritmen.*

Respondent 1, forskare från Lunds tekniska högskola, menar på att AI-metoder, såsom maskininlärning, bara är en av många metoder för beräkningar inom järnvägen. Därtill finns andra metoder som fungerar bra.

6.2.2 Gott samarbete

Flera respondenter indikerar på att det finns aktörer inom pendeltågstrafiken som är samarbetsvilliga samt att det mestadels finns goda relationer inom branschen. Respondent 5 från PA Consulting menar att det finns goda relationer och ett öppet klimat inom branschen. Hen menar att detta är något man har byggt upp under lång tid och att aktörerna är vana vid att samarbeta.

Vidare påvisar respondent 10 att det finns goda relationer mellan aktörerna Trafikverket och MTR. Respondenten 10 förklarar att MTR är generösa gällande delning av fordonsdata till Trafikverket. Dessutom beskriver respondent 4 att MTR samlar in data om infrastrukturanläggningens tillstånd som de kan ge till Trafikverket. Information om anläggningens tillstånd ger de av välvilja och inte för att det finns ett avtal som säger det. Hen beskriver att de vill samarbeta och föra dialog med övriga aktörer, ett avtal kring datadelning är däremot något som respondent 4 saknar.

Respondent 9 beskriver att samarbetet mellan de olika aktörerna blivit mycket bättre tack vare den gemensamma branschorganisationen JBS. Hen tror att JBS som plattform kan leda till att alla får ut nyttor. Vidare menar hen att samverkan kan leda till mer integration och externa datautbyten, vilket alla aktörer i järnvägsbranschen kan dra nytta av.

6.2.3 Stora volymer data

Flera respondenter beskriver att det finns stora volymer data hos respektive aktör. Respondent 4, 8, 9 och 10 menar alla att det finns tillgång till stora mängder data. Nedan beskriver respondent 9 mängden data Trafikverket har tillgång till:

> *”En riktigt enorm mängd befintlig data. Om vi skulle sortera den befintliga datan då skulle vi egentligen ha otroligt mycket nytta av den befintliga datan och på en aggregerad nivå bara den anläggningsdata, från olika IT-system som jag nämnde att de innehåller ganska stora mängder data, för data i det formatet som man säger. Rådata, saknas inte.”*

Vidare beskriver respondent 4 mängden fordonsdata som samlas in hos MTR idag. Det finns idag 120 pendeltågsfordon och de samlar in data från 2000 signaler som uppdateras varje sekund. Detta innebär datamängder på några terabyte om året, menar respondenten.

6.2.4 Digitalisering centralt hos aktör och ledning

Digitalisering centralt hos aktör och ledning påverkar potentialen för implementering av AI inom Stockholms pendeltågstrafik. Utifrån respondenterna som tillhör aktörer inom Stockholms pendeltågstrafik, antyddes det att deras aktör har en digitaliseringsstrategi samt att ledningen är stöttande i digitaliseringsinitiativ. Med andra ord finns det ett intresse hos centrala aktörer inom pendeltågstrafik att digitalisera branschen i större utsträckning. Både respondent 6 och respondent 7 beskriver att Trafikförvaltningen i februari 2021 tog beslut om en övergripande digitaliseringsstrategi. Respondent 6 förklarar att det inte har funnits någon strategi på denna nivå tidigare.

Respondent 4 beskriver att MTR har stöd från ledningen för att driva digitaliseringsfrågan i form av att det är en klubbad strategi för de kommande 14 åren. Samtidigt menar respondent 4 att det finns en viss diskrepans mellan vilja och faktiska investeringar i strategin. Liknande upplevelse har respondent 10 gällande stödet från ledningen hos Trafikverket att bedriva digitaliseringsfrågan. Hen beskriver att det finns ett jättebra stöd från ledningen, men att viljan att digitalisera inte alltid möts av en förståelse för vad som faktiskt krävs för att kunna genomföra nödvändiga förändringar.

6.3 Utmaningar

F2: Vad finns det för utmaningar vid nyttjandet av AI för att nå strategiska mål?

Den övergripande dimensionen för frågeställningen kring utmaningar vid nyttjande av AI är *komplext system som är svårt att förändra* (se figur 12). Dimensionen baseras på framtagna koncept och teman och sammanfattar dessa för att besvara frågeställningen. Sju identifierade teman lyder: *Problematik kring delning av data, gammalmodig och trög bransch, saknas kunskap och kompetens, bristande dialog och samverkan mellan aktörer,*

regelverk och *sekretess, bristande datakvalitet, ej ändamålsenlig organisering av verksamhet och data.* Teman och tillhörande exempelcitat redovisas i Bilaga 1 tabell 2.

6.3.1 Problematik kring delning av data

Enligt flertalet respondenterna delas inte all relevant data mellan aktörer inom Stockholms pendeltågstrafik. Ifall data delas är det enligt respondent 1 från Lunds tekniska högskola en tidskrävande process. Hen menar att det kan ta månader till år att få den faktiska leveransen av data. Utifrån respondenternas svar framkommer det att det bland annat saknas tillgång till affärs-, realtids-, ställverks- och resenärsdata aktörerna emellan. Respondent 1 från Lunds tekniska högskola beskriver att avregleringen har bidragit till den konkurrens som finns på järnvägsmarknaden idag, vilket i sin tur påverkar hur branschen ser ut samt hur olika aktörer agerar. Respondenten menar att olika aktörer samlar in och har tillgång till olika data. Data som potentiellt kan innebära konkurrensfördelar för andra aktörer delas ej. Detta menar respondent 1 är förståeligt och ofrånkomligt, men det stundtals kan skapa problem vid genomförandet av olika projekt.

Respondent 4 från MTR Tech beskriver att det finns en problematik kring att olika aktörer äger olika data. Hen tror att anledningen till att MTR i Hong Kong har kommit längre i digitaliseringen av järnvägen beror på att samma aktör äger både infrastruktur- och fordonsdata. Enligt respondenterna finns det ingen anledning att aktörerna håller ställverksdata, realtidsdata eller resenärsdata för sig själva. Respondent 5 från PA Consulting uttrycker att man idag inte delar data på ett strukturerat sätt och att detta måste förbättras.

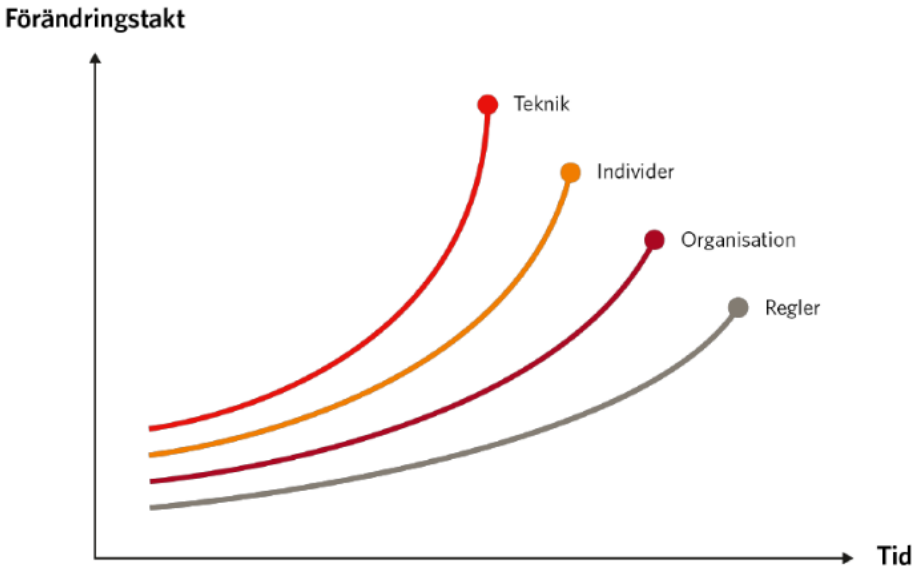
6.3.2 Gammalmodig och trög bransch

Flertalet respondenter tycker att järnvägsbranschen är gammalmodig, omogen och trög. En stor andel av arbetet i järnvägsbranschen utförs idag manuellt, enligt respondent 5 från PA Consulting:

> *”Mycket är också manuellt, alltså när jag kom till Trafikverket så höll jag på att få en chock, när jag kom in i trafikcentralen. Jag vet inte om ni har sett det men när man skriver om ett tåg, så liksom printar man ut ett stort papper och så skriver man med papper och penna hur man ska styra om det tåget som har stopp i trafiken.”*

Enligt respondent 3 från MTR Pendeltåg är det inom området trafikplanering mycket manuellt arbete. Deras nuvarande planeringsverktyg kräver att man för in data manuellt. Vidare menar flera respondenter att järnvägsbranschen styrs av föråldrade regelverk. Respondent 8 från Trafikförvaltningen beskriver att branschen idag styrs av gamla regelverk, som idag till viss utsträckning är förlegade. Järnvägen består av ett stort system där det, enligt respondent 8, är svårt att genomföra organisatoriska förändringar, då dessa ofta är långsamma. Respondent 8 beskriver att tekniken går snabbast att förändra, men att

regler och organisationen går långsamt. Hen menar att det inte är tekniken som är den stora frågan här, utan hur man applicerar tekniken på verksamheten. Respondenten refererade till figur 13 under intervjun, som förklarar hur förändringstakten kan se ut för olika processer i digitaliseringsprojekt.



Figur 13: Förändringstakten över tid (Spross, 2020)

6.3.3 Saknas kunskap och kompetens

Enligt sju respondenter saknas det relevant kunskap och kompetens kring AI inom järnvägsbranschen. Respondenterna menar att kunskap och kompetens är viktigt för att kunna genomföra förändringar inom verksamheten. Respondent 1 från Lunds tekniska högskola beskriver sina tankar kring problematiken kring bristande kunskap inom järnvägsbranschen. Hen menar att aktörerna måste ha kunskaper inom maskininlärning, dess tillämpningsområden samt vart problemen inom järnvägsbranschen finns. Dessutom menar hen att det inte finns så många som har kunskaper inom alla dessa områden. Respondent 9 beskriver att det behövs ett kunskapslyft inom alla avdelningar på Trafikverket kring hur prediktion av stora datamängder sker och analyseras.

Vidare beskriver respondent 3 från MTR branschen som ett gammalt skråväsen. Det är enligt respondenten få ingenjörer från tekniska högskolor i järnvägsbranschen. Respondent 5 beskriver att utbildade ingenjörer söker sig till den bransch som är mest populär. Hen ger exemplet att arbete med molnlösningar hos Google förmodligen är mer populärt än att arbeta inom järnvägsbranschen. Hen menar att järnvägsbranschen uppfattas som tungrullad och att det därmed är svårt att attrahera talanger. Samtidigt menar respondent 5 att de som söker sig till branschen ofta stannar kvar länge. Respondent 4 från MTR beskriver att det är viktigare att få in fler datakunniga analytiker än experter inom järnväg:

Det är en ganska hög medelålder och den börjar bättras på i och med att det kommer in mycket nya unga. Och med unga hungriga nya akademiska kunskaper så är det större driv att jobba med data snarare än att vara jättekunniga på relä exempelvis. Eller mekaniska bitar för den delen. Fordonen kräver inte längre att man står med en slägga. /.../

6.3.4 Bristande dialog och samverkan mellan aktörer

Respondent 2, 4, 5, och 9 tycker att det finns brister kring dialog och samverkan mellan aktörer i järnvägsbranschen. Enligt respondent 5 från PA Consulting saknas det en gemensam målbild över en digitaliseringsstrategi. Respondenten menar att det första steget är att komma överens om vad AI kan användas till. Vidare menar respondenten att det saknas en fungerande dialog mellan aktörer vid störningar i trafiken. Respondenten anser att detta är något de kan bli bättre på, både att ha en dialog under tiden en störning sker samt att ha en avslutande dialog efter en störning. Vidare tycker respondent 2, från Luleå tekniska universitet, att det finns en affärsmässig utmaning kring samverkan. En avsaknad av affärsmodeller mellan aktörer saktar ner den digitaliserande utvecklingsprocessen. Respondent 4 på MTR Tech framför sina åsikter kring bristande samverkan:

"Tyvärr avtalsstyrt och juridiska bitar i det hela så vi kan ju inte göra vad vi vill och vi kan ju inte samarbeta exakt hur vi vill /../ nuläget är det som sagt att vi inte har inte några riktiga avtal."

6.3.5 Problematik kring regelverk och sekretess

Järnvägsbranschen är gammalmodig med förlegade regelverk, enligt flera respondenter. Vidare beskriver flera respondenter att det finns problematik gällande säkerhet och sekretess. Det krävs idag stora säkerhetsgenomgångar för att få igenom projekt, enligt respondent 5. Flera respondenter menar även att GDPR kring integritet är en aspekt som påverkar dem i deras arbete. Respondent 6 på Trafikförvaltningen förklarar hur detta påverkar aktörerna inom järnvägen:

"Schrems-II domen. det är en dom som gjordes på EU nivå så dömdes den i somras. Och då har den kommit fram till att det inte är som regelverket ser ut eller som det tolkas så ska man inte kunna lägga några personuppgifter i amerikanska molntjänster och det påverkar ju hur vi utformar våra tjänster så att vi måste se till att vi har, inte gör det helt enkelt, hantera personuppgifter på andra sätt on-premlösningar. Just nu är det lite osäkert det här ramverket och vad EU-lagen kommer att ta vägen i det här fallet."

Även rikets säkerhet är en aspekt som påverkar aktörer i järnvägsbranschen, enligt respondent 1 från Lunds tekniska högskola. Hen beskriver att Trafikverket, Säpo och Försvarsmakten anser att det finns känslig information i järnvägen som inte får störas,

vilket ytterligare påverkar vad som får delas mellan aktörer. Vidare förklarar respondent 10 från Trafikverket problematiken kring regelverk och sekretess. Eftersom en stor del av informationen från järnvägen går att samla in via satellit anser inte respondenten att informationen borde hållas hemlig. Dessutom menar respondenten att det finns en motsättning kring viljan att digitalisera och lagarna som styr järnvägen. Således ses regelverk och sekretess som en utmaning för implementering av AI.

6.3.6 Bristande datakvalitet

Bristande datakvalitet ses som ett problem av respondent 1, 6 och 10. Enligt respondent 6 från Trafikförvaltningen är det ett område aktörerna skulle kunna behöva bli bättre på. Enligt hen kan automatiska kontroller fånga upp avvikelser i data, vilket är något de skulle behöva bli bättre på. Vidare beskriver respondent 10 från Trafikverket problematiken kring användning av samma data i flera syften. Ifall samma data används inom flera områden, är det inte säkert att data är kvalificerad för alla användningsområden.

6.3.7 Ej ändamålsenlig organisering av verksamhet och data

Det finns enligt respondenterna brister kring organisering av verksamhet och data. Det är enligt respondent 2 från LTU problematiskt att få igenom organisatoriska förändringar. Dessutom tycker respondent 8 från Trafikförvaltningen att det är svårt att organisera verksamhet och data. Hen anser at det alltid är problematiskt när information finns på flera ställen och att det är en utmaning hur man ska arbeta med detta.

Respondent 9 från Trafikverket menar att det finns hinder kring att skapa en systematik för hantering av järnvägsanläggningen och dess komponenter. Hen menar att det är svårt att, på ett systematiskt och kontinuerligt sätt, övervaka verksamhetens funktionalitet. Vidare anser respondenten att det finns problematik kring institutionalisering av AI:

> *”/…/ vi kämpar fortfarande med att projekten ska bli institutionaliserade kan man säga. Att vi går från ord till handling, det är det som vi saknar. Vi är på god väg, men tyvärr är själva implementeringen något som vi inte har än. Vi försöker göra nytta och prediktera men det viktiga är när man kommer upp till aggregeringsnivå, då ser man riktig nytta på systemnivå.”*

6.4 Överkomma utmaningar

F3: Vad krävs för att överkomma de utmaningar som finns?

Den övergripande dimensionen angående vad som krävs för att överkomma de utmaningar som finns vid implementering av AI inom järnvägsbranschen är *vilja, satsningar och initiativ*. Denna övergripande dimension baseras på fyra relaterade teman. Dessa är *förbättra datahantering, öka samverkan, öka kompetensen* och avslutningsvis att

tydliggöra och förändra säkerhetsaspekter. Teman och tillhörande exempelcitat redovisas i Bilaga 1 tabell 3.

6.4.1 Förbättra datahantering

Sju respondenter anser att datahanteringsfrågan är ett område som kräver åtgärder. Det finns olika förslag och identifierade lösningar från respektive aktör. Delvis gällande hur datakvalitet kan förbättras och delvis gällande hur man skapar en övergripande systematik kring datahanteringen. Gällande datakvalitetsfrågan finns en viss osäkerhet gällande hur datakvalitet kontrolleras idag. Respondent 10 från Trafikverket tycker att det är ett problem att data inte säkerställs på en systematisk nivå. Hen ser obrutna digitala länkar som en lösning för datakvalitetsfrågan. Följande beskriver respondent 10:

> *”/…/ data är säkerställd av samma personer som måste veta att data är säkerställd. Problemet är att om någon annan vill använda data till något annat syfte, något nytt syfte. /…/. Så att det är det vi försöker få till genom något vi kallar för obrutna digitala länkar. När vi lägger in data från källan, vet vi att det är rätt person som lagt in data och det finns inga manuella steg som kan introducera fel. Så vi försöker nu att ta bort alla manuella steg i datahanteringen och på så sätt försöker vi att säkra datakvalitén. ”*

Respondent 3 beskriver att MTR validerar och kalibrerar sin egen RVM-data, vilket är data som samlas in från fordonen. Hen berättar dessutom att data som de får in från Trafikverket ofta inte valideras av MTR utan att den istället accepteras som ”sanning”. Det har däremot funnits tankar om att det vore bra att kvalitetssäkra denna data via utrustningen som finns på fordonen för att kalibrera Trafikverkets data.

Flera av respondenterna tycker att avsaknaden av kartläggning av data är ett problem. Båda respondenterna från Trafikverket (9 och 10) samt respondent 1 från LTU menar att en viktig åtgärd är att kartlägga anläggningsdata. Respondent 9 beskriver vikten av att kunna prediktera anläggningen i större skala, för att kunna se nytta på systemnivå.

6.4.2 Öka samverkan

Att öka samverkan är en viktig aspekt för att möjliggöra en utveckling och implementering av AI inom pendeltågstrafiken, enligt sex respondenter. Respondent 9 från Trafikverket menar på att det är viktigt att alla samarbetar så mycket som möjligt. Hen menar på att det finns god potential att skapa en bra arena tillsammans utan att avslöja affärsmöjligheter. Respondent 10 från Trafikverket anser att det är viktigt att tydliggöra varför samarbete och datadelning är gynnande, för att skapa en förståelse hos inblandade aktörer. Enligt respondent 5 på PA Consulting behövs arbetssättet kring delning av information vid störningar förbättras. Att aktörer signalerar tidigt vid störning är ett sätt att förbättra arbetssättet, enligt respondenten. Vidare menar respondent 10 att det behövs en överordnad digitaliseringsstrategi och ett mål med denna strategi.

Gemensamma mål för samverkan är något även respondent 4 från MTR Tech anser behövs:

> *”Men att kunna samverka kräver gemensamma mål, och att kunna samverka inom den digitala världen så blir det ytterligare en utmaning, vad är det digitala målet för det här?”*

Respondent 2 från Luleå tekniska Universitet tycker att förändringsledning är en viktig aspekt att ta i beaktning vid förändringsarbete inom organisation och bransch. Förändringsledning används inom organisationer och företag som ett medel för att på ett strukturerat sätt hantera planerade förändringar (Tang, 2019, s.45).

6.4.3 Öka kompetensen

Flera respondenter menar att ett steg mot implementering av AI är att öka kompetensen hos aktörerna. Enligt respondent 3 på MTR pendeltåg behöver man komplettera med personal med kompetens inom AI. Respondent 9 på Trafikverket uttrycker sin åsikt kring hur anställning av mer kompetent personal kan leda till att utvecklingstakten ökar:

> *“Det finns redan skrivet men det gäller att anställa, öka takten. Men jag tror vi behöver öka på flera områden. Den hungrighet krävs ifall man vill förändra tänkandet, specifikt på ett analytiskt sätt och prediktera. Alla enheter och avdelningar behöver i viss mån olika typer av roller som skulle tänka sig att prata om just prediktera stora datamängder.”*

Enligt respondent 2 och 9 är en aspekt som kan bidra till utveckling och användning av AI att köpa lösningar inom området externt. Enligt respondent 9 på Trafikverket går det att köpa färdiga lösningar från externa ”AI-företag” och analysföretag:

> *“Och lika att vi kan köpa färdiga lösningar från branschen eller från AI-företag i framtiden, analysföretag. Det vill jag gärna, för att vi kan inte uppfinna alla hjul, kan man säga. Det är att få den förmåga att inte bli så konservativ, den är viktig ur säkerhetssynpunkt att vi skapar förutsättningar för att köpa andras lösningar, digitala lösningar”*

Respondent 2 på Luleå tekniska universitet anser att det går att överkomma säkerhetsproblematik, till viss del. Hen menar att en lösning är att externa företag ber aktören att själv köra algoritmen internt, för att sedan skicka svaret tillbaka till företaget. På så sätt går det att överkomma säkerhetsaspekter, samtidigt som man använder sig av externa kompetens.

6.4.4 Tydliggöra och förändra regler och lagar

Enligt respondent 1, 6 och 10 behöver regler och lagar tydliggöras för att möjliggöra en implementering av AI. Enligt respondent 1 på Lunds tekniska högskola behövs tydlighet

kring problematiken i data, vad som är känsliga data och se till att denna information inte rörs. Osäkerheten kring vad som är känsligt och inte är enligt respondenten ett problem.

Enligt respondent 5 borde regelverk kring gammal infrastruktur som fortfarande används men som ger felaktig information förändras. Även regelverk kring delning av data behöver förbytas. Dessutom anser både respondent 4 och respondent 10 att information behöver lagras i molnet, och för att göra detta möjligt behövs en förändring i regelverk. Enligt respondent 4 blir informationen mer dynamisk och effektiv ifall det lagras i molnet istället för på utskrivna papperslappar. Vidare beskriver respondent 10 från Trafikverket sina åsikter kring lagring av information i molnet:

> *”Sen hantera molnfrågan. För som det är idag får vi inte jobba med moln och det måste vi lösa. Idag får vi bara använda svenska moln. I exempelvis Norge får man använda moln. Det blir väldigt knöligt och mycket kvalitet vi går miste om. Detta är en aktuell fråga, så vi kollar på hur vi kan lösa det. Detta är ett jättestort hinder för oss. Speciellt ett jättestort hinder för utvecklingen av AI.”*

7. Diskussion

I diskussionen nedan sätts innebörden av resultaten i relation till det rådande forskningsläget. Underrubrikerna är indelade efter respektive frågeställning. Baserat på dessa presenteras sedan en modifierad analysmodell. Därefter beskrivs tillförlitlighet, begränsningar och förslag på vidare forskning.

7.1 AI-potential inom järnvägsbranschen för måluppfyllelse

Resultatet visar att det finns potential för implementering av AI inom flera områden. Detta för att *effektivisera verksamheten och göra den mer attraktiv*, vilket uttrycks i den övergripande dimensionen (se figur 12). Respondenternas svar stämmer överens med det som bland annat Maria Lopez Conde och Ian Twinn (2019) och Niestadt m.fl., (2019) uttrycker: AI kan skapa möjligheter för mer pålitlig, säker, ekonomisk, effektiv och ren transport. I avsnitt 4.2.1 ges exempel på flera metoder och algoritmer som kan användas inom underhåll och trafikledning. Forskning visar AI:s potential inom dessa två områden. Den summerande figuren över metoder och dess respektive användningsområde (figur 10) tydliggör denna slutsats. Respondenterna ser potential för AI inom bland annat tidtabellplanering och trafikinformation – slutsatser som också stöds av bland annat Jiang m.fl., (2018) och Ghoseiri (2006). Tidtabellplanering, trafikinformation och realtidsinformation är delar av planeringsprocessen inom området trafikledning, vilket beskrivs i avsnitt 2.1.3. Utifrån respondenternas svar verkar således AI-metoder ha störst potential för planering, snarare än trafikstyrning och daglig drift.

Respondenterna ser potential för AI-metoder inom prediktivt underhåll, vilket bekräftas av Xie m.fl., (2020). Xie m.fl. beskriver potentialen för flertalet metoder och algoritmer inom prediktivt underhåll på järnvägen. Underhållsarbete är alltid viktigt, men spår och fordon kan kräva ytterligare underhåll i Sverige på grund av årstidsväxlingar och de väderomställningar som dessa medför (se avsnitt 2.1.2). Enligt en respondent från MTR Tech är det med prediktivt underhåll möjligt att agera i tid, för hantering av bland annat årstidsväxlingar. Då utgår underhållet från varningar och indikationer istället för det mer kostsamma reaktiva underhållet, som beskrivs 2.1.2. I åtgärdsplanen (avsnitt 3.1.2) beskrivs viljan att arbeta mer med prediktivt underhåll och anläggningsinformation inom pendeltågstrafiken i framtiden.

Vidare finns det enligt respondenterna gott samarbete, stora volymer data samt en tydlig digitaliseringsstrategi centralt hos aktör och ledning. Det pågår dessutom framgångsrik forskning kring potential av AI i Sverige (3.2.3). Implementering av AI-metoder har tillika gjorts inom järnvägen internationellt, med goda resultat (avsnitt 3.2.2). Aspekterna som nämns ovan är ytterligare incitament som främjar implementering av AI i Sverige.

Kan då AI användas för att nå strategiska mål inom pendeltågstrafiken (se tabell 2)? Ja. Den övergripande dimensionen baserat på intervjuerna – det vill säga en *mer attraktiv och*

effektiv verksamhet - kan enligt forskning bidra till att uppnå mål inom pendeltågstrafiken. Enligt Vinnova (2018) kan AI bidra till att uppnå Agenda 2030, vilket är ett av de strategiska målen. Agenda 2030, European Green Deal, Sveriges miljömål och de transportpolitiska målen handlar till största del om skapandet av ett hållbart och samhällsekonomiskt samhälle (se avsnitt 2.1.5). Här kan AI bidra. Maria Lopez Conde och Ian Twinn (2019), Niestadt m.fl., och European Parliamentary Resarch Center (2019) menar samtliga att AI kan bidra till renare transport och minskade utsläpp. Målen kan dessutom kopplas till ekonomiska aspekter, då mer effektiv transport är positivt för Sveriges tillväxt. Ifall kollektivtrafiken blir mer attraktiv, lockar den fler kunder, vilket i sin tur ökar tillväxten. Sammanfattningsvis blir slutsatsen att AI kan bidra till att uppnå de ovan beskrivna målen kopplat till järnvägen, både ur ett finansiellt och miljömässigt perspektiv.

I tabell 2 beskrivs specifika mål kopplat till pendeltågstrafiken. Målet kring 95 % punktlighet påverkas till stor del av störningar i trafiken. Forskningen visar potential hos AI för just effektivisering, minskad trafikstockning och pålitlig transport. Litteraturen framhåller flertalet metoder inom AI för prediktivt underhåll och förbättrad trafikledning, som i sin tur kan leda till ökad punktlighet. AI kan således understödja målet på 95 % punktlighet. Punktlighet är även en central aspekt inom incitamentskonstruktionerna, som är ett mål som beskrivs styra pendeltågstrafiken. Genom ökad punktlighet kan trafikutövaren få en stor ekonomisk bonus, eftersom låg punktlighet medför vite. Dessutom är punktlighet positivt ur ett hållbarhetsmässigt perspektiv, då ökad punktlighet bidrar till effektivare trafik och minskade utsläpp.

Mål för utveckling inom pendeltågstrafiken samt tillhörande delmål, beskrivs i figur 7. Forskning och resultat tyder på att AI kan bidra till att uppnå även dessa mål. Utifrån effektivisering, minskad trafikstockning, minskade utsläpp och säker pendeltågstrafik (från litteraturstudierna) kan AI bidra till att uppnå mål för utveckling inom pendeltågstrafiken, både ur ett finansiellt och hållbarhetsmässigt perspektiv. Detta genom att skapa mer attraktiv, störningstålig, förtroendegivande och resurseffektiv transport. Förbättrat underhåll samt trafikledningsarbete är centralt för att nå målen, fram för allt för att minska störningar. Med detta sagt kan AI användas för att aktörer inom pendeltågstrafiken ska uppnå utvecklingsmålen, där Trafikverket, Trafikförvaltningen och MTR har centrala roller.

Det framkommer under intervjuerna att maskininlärning och AI är ofördelaktigt vid kreativa beslut. Istället passar AI-metoder, enligt en av respondenterna, bättre för optimering och repetitiva uppgifter. Hen menar att det är viktigt att inte ha en övertro till vilka områden AI kan vara användbart inom och förstå vad dessa modeller ännu inte klarar av. Detta går i linje med vad som beskrivs i avsnitt 4.1.1, att det genom tiderna funnits höga förväntningar på vad AI klarar av. Utifrån litteraturen och den intervjuades erfarenheter blir det därför tydligt att AI fungerar bäst i kombination med människan, som står för de mer kreativa besluten. Vidare poängterar en av de intervjuade respondenterna

att AI-metoder inte alltid är att föredra. De menar att det tillika finns en poäng med att använda mer klassiska beräkningssätt och att de stundtals till och med fungerar bättre. Det är med andra ord viktigt att inte ha för höga förväntningar på vad AI kan åstadkomma, och samtidigt värdesätta människans roll.

Det var endast en respondent, från Luleå tekniska Universitet, som kunde uttala sig kring en algoritm eller metod som kunde vara användbar inom AI. Hen beskriver att de har använt sig av ANN inom projektet AI-fabriken, som beskrivs i avsnitt 4.2.3. I avsnitt 4.2.1. beskrivs ANN som det vanligaste tillvägagångssättet inom djupinlärning. Även utomlands samt den svenska forskningen används ofta neurala nätverk inom järnvägen för förbättrad trafikledning och underhållsarbete. Att algoritmen är en beprövad metod inom järnvägen kan vara fördelaktigt vid implementering i Sverige. Det går dock inte att dra några slutsatser utifrån litteratur att neurala nätverk skulle vara bättre än andra metoder. Det är endast Jiang m.fl, (2018) som beskriver att random forest presterar bättre än övriga metoder, i detta fall bättre än ANN och SVM. Eftersom det endast är Jiang m.fl., (2018) som beskriver detta dras inga slutsatser utifrån denna studies resultat. Vidare är det svårt att dra slutsatser utifrån forskningen kring en specifik metod som skulle vara bäst lämpad för applicering inom järnvägen.

Inom området ensemblemodeller visar två studier på en att en kombination av två algoritmer ger ett bättre resultat än användandet av endast en algoritm. Detta tyder på att ensemblemodeller kan vara att föredra före övriga metoder och algoritmer. Negativa aspekter med metoden är däremot att den kräver större lagringsutrymme och har en större beräkningskostnad än vid användandet av endast en modell. Vidare dras slutsatsen från litteraturen att ensemblemodeller är att föredra före övriga modeller, dock till en bekostnad av lagringsutrymme och beräkningskostnad.

I figur 10 tydliggörs faktumet att det finns ett större antal algoritmer som passar för trafikledning än för underhåll. Det finns alltså utifrån forskningen fler möjligheter att välja fritt bland algoritmer och metoder inom området trafikledning. Vidare är det upp till användaren att välja den algoritm som är passar hen bäst, utifrån erfarenhet, kunskap och användningsområde.

För att sammanfatta finns det utifrån intervjuer och forskning stor potential för AI inom järnvägsbranschen, kopplat till underhåll och trafikledning. Potentialen för AI grundar sig i den övergripande dimensionen *mer attraktiv och effektiv verksamhet.* Effektivisering och optimering av verksamheten kan i sin tur leda till att uppnå strategiska mål: internationella, nationella och pendeltågsrelaterade mål. Målen går att koppla både till hållbarhet- och finansiella aspekter. Det är även viktigt att ha realistiska förväntningar på vad AI kan åstadkomma. Det är svårt att dra slutsatser utifrån resultatet kring specifika metoder som är bäst lämpade för applicering inom järnvägen. ANN är dock en beprövad metod inom järnvägen vilket kan vara fördelaktigt vid implementering. Vidare kan

ensemblemodeller vara att föredra före övriga metoder, dock på bekostnad av utrymme och beräkningskostnad.

7.2 Utmaningar

Från intervjuerna har utmaningar identifierats, där flera av dem stämmer överens med analysmodellens utmaningar: *Datakvalitet, kunskap och kapacitet, datatillgång och sekretess* och slutligen *digitaliseringsstrategi*. Majoriteten av respondenterna har indikerat att *datavolym* inte är ett problem och detsamma gäller *engagemang från top management*, vilket är två av utmaningarna som presenteras i analysmodellen.

Datakvalitet är ett tema som majoriteten av respondenterna ser som ett problem. UITP beskriver att datakvalitet måste vara av god, förenlig och utan fragmentering för att kunna användas inom AI-sammanhang. JBS tar vidare fasta på att många system inom järnvägen inte håller tillräckligt hög kvalitet och den data som idag samlas in inte möter dagens behov. Åtgärdsrapporten, som mer specifikt beskriver Stockholms pendeltågstrafik har också beskrivit att datakvalitet är av varierande skick. En respondent från Trafikverket beskriver att de har stora problem med datakvalitet, fram för allt gällande anläggningsdata. Respondenten från Lunds tekniska högskola att det finns ”särskilt stora problem” med just denna data. Dessutom finns det problematik gällande hur kravställningar på data ska göras.

Kunskap och kapacitet är ytterligare ett problem som går i linje med UITP:s identifierade utmaningar. UITP beskriver att implementering inom transport kräver att aktören har god kapacitet och att aktörens anställda innehar den kunskap som krävs. Utifrån intervjuerna framkommer det att båda dessa delar är bristande hos samtliga aktörer. Utifrån intervjuerna går det att identifiera att den gränsöverskridande kunskapen saknas. Gränsöverskridande kunskaper syftar på anställda som besitter kunskap inom både AI och järnväg. Detta problem kan bero på att branschen inte är attraktiv sett ur nyutexaminerades ögon, enligt en aktör. Respondent 4 från MTR menar på att det viktigast är att få in fler unga med driv och kunskaper inom data snarare än järnvägskunniga.

Flertalet respondenter identifierar datatillgång och sekretess som ett problem. Detta representeras av temat *problematik kring regelverk och sekretess* i datastrukturen. Något som flera respondenter tog fasta på var att det finns en förlegad bild av vad som bör kunna påverka rikets säkerhet och inte. Användningen av AI inom järnvägsbranschen (och andra digitaliseringsinitiativ inom järnvägsbranschen) hämmas av den otydlighet som finns gällande sekretess. Vidare menar flera av de intervjuade att AI hindras av att användning av internationell molnlagring inte är lagligt för aktörerna i Sverige. Respondent 10 menar att detta är ett av de största problemen för AI-implementering. I avsnitt 4.2.2 beskrivs det att MTR Hong Kongs AI-lösningar, för planering och schemaläggning av underhållsarbete på järnvägen, bygger på en AI-motor som är designad som en skalbar molntjänst. Samma lösning skulle med andra ord inte vara möjlig i Sverige idag.

Avsaknad av digitaliseringsstrategi identifieras också som en utmaning. Detta representeras av två utmaningar i datastrukturen: *bristande dialog och samverkan mellan aktörer* och *problematik kring delning av data*. Enligt JBS så innebär branschens komplexitet att det krävs en gemensam digitaliseringsstrategi mellan de olika aktörerna. Enligt en av respondenterna från PA Consulting, saknas det idag en tydlig målbild över digitaliseringsstrategin. En annan respondent från MTR Tech, menar att avsaknaden av samarbetsavtal hindrar datadelning mellan aktörerna. Respondenten från Lunds tekniska högskola beskriver att avregleringen innebär konkurrens som gör att det finns konkurrensmässiga affärsmöjligheter som hindrar delning av data. En respondent från MTR Tech beskriver att digitalisering hindras av att olika aktörer äger olika data. Hen ger Hong Kong som ett exempel på en plats där digitalisering inom järnvägen gått snabbare eftersom infrastrukturen och fordonen ägs av samma aktör. Eftersom situationen ser annorlunda ut i Sverige kan det anses extra viktigt att det läggs fokus på en övergripande målbild över en digitaliseringsstrategi för att gemensamt kunna ta nya kliv i digitaliseringen av järnvägen.

Andra områden som framkommer som utmaningar från intervjuerna för implementering av AI är att järnvägsbranschen är *gammalmodig och trögföränderlig bransch* samt *ej ändamålsenlig organisering av verksamhet och data.* Dessa utmaningar lyfts inte i analysmodellen. En anledning till att dessa utmaningar inte nämns i analysmodellen kan vara för att modellen inte enbart utgår från en svensk kontext. UITP (2020) arbetar internationell och inte utifrån svenska förutsättningar. Artikeln av UITP ska dessutom vara applicerbar på all kollektivtrafik. JBS (2020) är dock ett svenskt organ och skulle således kunnat ta upp dessa utmaningar. Detta kan vara ett incitament för att JBS ska se över sina identifierade utmaningar.

Sammanfattningsvis har fyra av de sex utmaningarna från analysmodellen identifieras stämma överens för de utmaningar som respondenterna beskriver finns hos Stockholms pendeltågstrafik gällande implementering av AI. De två som inte tycks stämma är *datavolym* och *engagemang från top management.* Via användning av Gioia-metoden framkom ytterligare två utmaningar: *gammalmodig och trög bransch* och *ej ändamålsenlig organisering av verksamhet och data*. Utmaningarna bottnar i den övergripande dimensionen att järnvägsbranschen är ett *komplext system som är svårt att förändra.* Baserat på resultatet kring utmaningar har en ny modell tagits fram, som representerar vad som krävs för att kunna implementera AI inom Stockholms pendeltågstrafik (se avsnitt 7.4).

7.3 Överkomma utmaningar

För att överkomma utmaningarna har fyra teman identifierats utifrån Gioia-analysen. Dessa teman är *förbättra datahantering, öka samverkan, öka kompetensen,* och *tydliggöra och förändra regler och säkerhetsaspekter*. I nedanstående stycken förs resonemang kring identifierade teman.

Förbättrad datahantering anses som viktigt av majoriteten av respondenterna, för att hantera bland annat *bristande datakvalitet* och *problematik kring delning av data.* Flertalet respondenter menar att det måste finnas en bättre systematik gällande hur datakvalitet hanteras. Ett konkret åtgärdsförslag som presenteras av en av respondenterna från Trafikverket är att använda obrutna digitala länkar för att skapa en systematisk datakvalitethantering. En respondent från MTR beskriver att det funnits tankar på att använda företagets egen utrustning för att validera Trafikverkets data, men att detta inte har realiserats. Dessutom delger en respondent från Lunds tekniska högskola att en viktig åtgärd är att kartlägga anläggningsdata. Datakvalitet och anläggningsdata är två aspekter som tas upp i utvecklings- och åtgärdsplanen i avsnitt 3.1.2 för underhållsarbete. Där beskrivs viljan att använda anläggningsinformation i större utsträckning. Vidare delges tillika att uppföljningen av indatakvalitet måste förbättras. Med andra ord finns det en tydlig medvetenheten kring problematiken och förbättringspotentialen hos datahantering. Det verkar även finnas en gemensam bild över vad som måste genomföras. Viljan att förändra finns hos aktörer, det som saknas är satsningar och initiativ. Förhoppningsvis bidrar utvecklings- och åtgärdsplanen till att förändringar sker inom dessa områden i Stockholms pendeltågstrafik.

Majoriteten av respondenterna anser att det behövs en *ökad samverkan* för att möjliggöra en utveckling inom AI i pendeltågstrafiken. En av respondenterna från Trafikverket menar på att det finns god potential för att skapa en arena tillsammans utan att avslöja affärshemligheter. Ett åtgärdsförslag enligt respondenten från PA Consulting är att signalera tidigt till alla berörda aktörer vid en störning. Vidare är ett förslag att införa ett gemensamt mål över digitaliseringsstrategin. För att skapa gemensamma mål kan förslagsvis en gemensam förändringsstrategi vara användbar. En respondent från Luleå tekniska Universitet menar att förändringsledning är en viktig aspekt att ta i beaktning vid förändringsarbete inom organisation och bransch. En gemensam förändringsledningsstrategi kan i sin tur leda till ökad samverkan. Sammanfattningsvis verkar det finnas en gemensam bild över vad som behöver förändras för att öka samverkan, det som saknas även här är satsningar och handlingskraft.

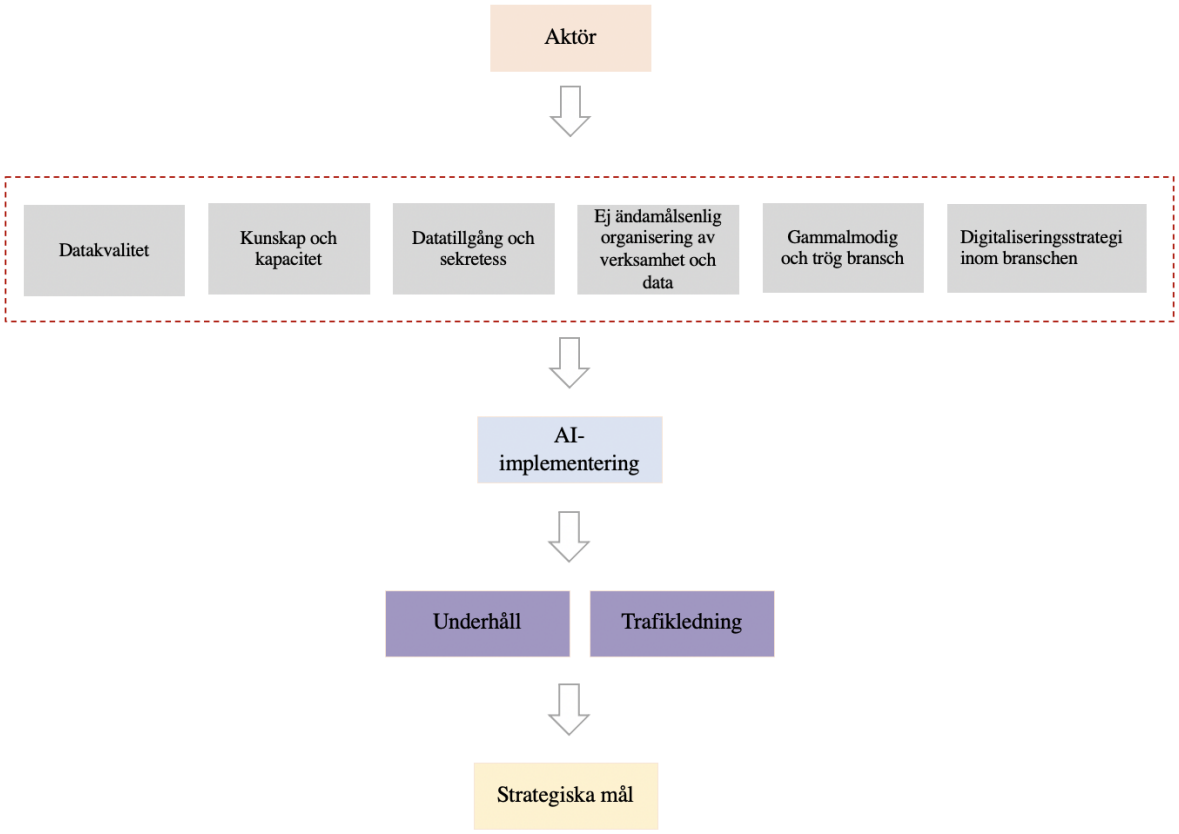
För att *öka kompetensen* behöver fler med kompetens inom digitalisering och AI anställas inom branschen, enligt flera respondenter. Respondent 9 från Trafikverket menar att detta kan leda till att utvecklingstakten ökar. Att anställa fler kan anses vara relativt enkelt att lösa, men i avsnitt 6.2 framkommer det att få söker sig till branschen. Därmed är ett förslag att tillta åtgärder som förbättrar branschens anseende. Respondenten från PA Consulting nämnde företaget Google, som ett exempel på en arbetsplats som anses som attraktiv. Att marknadsföra järnvägsbranschen som en framtidsbransch inom IT och digitalisering kan potentiellt locka fler unga talanger till branschen och därmed öka kompetensen. Ytterligare ett sätt att överbrygga kompetensbristen, gällande AI-kunskaper, är att köpa in lösningar externt. För att *öka kompetensen* inom branschen finns därmed flera konkreta åtgärdsförslag som kräver ytterligare satsningar och initiativ.

Tydliggöra och förändra regler och säkerhetsaspekter anses vara viktigt för en utveckling av AI inom järnvägsbranschen. Flertalet respondenter anser att lagar kopplat till digitalisering och järnväg bör förtydligas. De menar att det idag finns en utbredd osäkerhet kring vad som är känsliga data. Ett steg för att överbrygga problemen är att försöka påverka järnvägspolitiken. Det beskrivs i avsnitt 2.1.4 att det är politiker som sätter spelplanen för vad som får göras inom järnvägen och att det är i riksdagen som beslutar om den övergripande järnvägspolitiken. Genom en ökad dialog med politiker kan regler och lagar eventuellt tydliggöras och förändras. Ett konkret förslag kopplat till förändring av regelverk är att möjliggöra användandet av molntjänster inom järnvägsbranschen. Enligt en av respondenterna från Trafikverket skulle detta kunna innebära att data hanteras med högre kvalitet och på ett smidigare sätt än idag. Det är dock viktigt att vara medveten om de risker som finns kopplat till molntjänster, då dessa ofta styrs av internationella företag med andra länders lagstiftning (Lindé, 2019). Gällande regelverk och säkerhet finns dock en tydlig vilja till förändring hos involverade aktörer. Förändring av lagar är samtidigt ofta en trög och långsam process, där det krävs stora initiativ för att få igenom förslag.

Sammanfattningsvis behövs det en kombination av flera olika åtgärder för att överbrygga de utmaningar som finns för en implementering av AI inom Stockholms pendeltågstrafik. Vissa utmaningar har redan tagits i beaktning av involverade aktörer och organisationer, bland annat inom utvecklings- och åtgärdsplanen framtagen för Stockholms pendeltågstrafik (beskrivs i avsnitt 3.1.2.). Utifrån ovanstående diskussion framkommer att branschens genomsyras av stor vilja, men att satsningar och initiativ fortfarande till största del saknas för att överkomma de utmaningar som finns inom Stockholms pendeltågstrafik. Detta sammanfattar frågeställningens övergripande dimension angående vad som behövs *vilja, satsningar och initiativ.*

7.4 Analysmodell

Baserat på resultat och diskussion har en ny modell (se figur 14) tagits fram, som representerar vad som krävs för att kunna implementera AI inom Stockholms pendeltågstrafik. Utmaningarna *datavolym* och *Engagemang från top management* har tagits bort, då de inte har ansetts relevanta för pendeltågstrafiken. Utmaningarna *gammalmodig och trög* bransch samt *ej ändamålsenlig organisering av verksamhet och data* som framkom i resultatet, har istället används i analysmodellen. Vidare stödjer resultatet att AI kan användas inom underhåll och trafikledning, för att nå strategiska mål.



Figur 14: Analysmodell. Modifierad utifrån resultat och diskussion.

7.5 Tillförlitlighet

Det bör nämnas att en kvalitativ undersökning har gjorts, där vi på grund av tidsbegränsning endast har valt att intervjua ett fåtal personer. Som tidigare nämnt användes snöbollsmetoden för att få kontakt med relevanta respondenter. Detta kan påverka studiens tillförlitlighet då det kan ha funnits andra relevanta personer att intervjua än de som rekommenderats av tidigare intervjuade respondenter. Samtidigt ansågs snöbollsmetoden vara en möjliggörare till att få kontakt med nya respondenter, som vi annars inte hade kunnat få kontakt med.

På grund av studiens bredd har endast Stockholms pendeltågstrafik undersökts. Järnvägsbranschen är dock ett komplext system, där verksamheten varierar beroende på vart i branschen en befinner sig. Styrande aktörer, samhällsbehov och typ av trafik varierar. Dessa aspekter innebär att det blir svårt att dra generella slutsatser för hela järnvägsbranschen. Däremot kan resultatet användas som vägledning.

En aspekt som påverkade studiens resultat var att kunskapen kring olika AI-metoder var bristande hos respondenterna. Det var endast en respondent som kunde uttala sig om användbara AI-metoder. Detta bidrog till att vi inte fick ett användbart resultat att koppla till forskning kring beskrivna AI-metoder. Vidare gjorde detta att det var svårt att dra

några slutsatser kring vilka algoritmer och metoder som är bäst lämpade inom järnvägen. Den bristande kunskapen indikerar på att det finns ett kunskapsgap kring AI i järnvägsbranschen idag.

7.6 Begränsningar och vidare forskning

Studiens fokus och syfte har ändrats under arbetets gång. Den ursprungliga avsikten var att använda data för att utvärdera algoritmer och metoder. Förhoppningen var att genom detta angreppssätt kunna avgöra vilka algoritmer som kan vara användbara inom järnvägen i Sverige. Efter att ha arbetat några veckor framkom det att det inte var möjligt att få tillgång till behövda data. Av den anledningen ändrades studiens fokus till en intervjubaserad studie. För framtida forskning hade det därmed varit intressant att genomföra denna studies ursprungliga idé med järnvägsdata som grund. Det finns stor potential för vidare forskning inom detta område, då det finns mycket outforskat kring AI och dess potential i en svensk kontext.

Studiens tid och omfång har bidragit till en mer snäv avgränsning än vad vi tänkte från början. Vi ser potential för implementering av AI i järnvägsbranschen inom fler områden än underhåll och trafikledning. Det skulle dessutom vara intressant att undersöka potentialen av AI i järnvägsbranschen som helhet, inte bara inom pendeltågstrafiken. Denna studie kan då användas som ett underlag för ytterligare studier.

Järnvägsbranschen består av komplexa relationer och många aktörer. Vid förändringar behövs därför en tydlig ledning, vilket resultatet från denna studie har tydliggjort. Det vore därför av värde att utreda hur man leder förändring på bästa sätt. Därmed vore det intressant för vidare studier att utreda hur AI kan implementeras med stöd av förändringsledning.

8. Slutsatser

Syftet med denna studie var att utreda AI:s potential inom den svenska järnvägsbranschen. I och med användning av Stockholms pendeltågstrafik som fall tydliggjordes både AI:s potential och utmaningar. Järnvägsbranschen är dock ett komplext system, där verksamheten varierar beroende på var i branschen en befinner sig. Styrande aktörer, samhällsbehov och typ av trafik varierar. Dessa aspekter innebär att det blir svårt att dra generella slutsatser för hela järnvägsbranschen. Däremot kan resultatet användas som vägledning.

Det finns potential för användandet av AI kopplat till underhåll och trafikledning, för att skapa en *mer attraktiv och effektiv verksamhet* för aktörer inom pendeltågstrafiken. En attraktiv och effektiv verksamheten kan i sin tur leda till att uppnå strategiska mål: internationella, nationella och pendeltågsrelaterade mål. De strategiska målen går att koppla både till hållbarhet- och finansiella aspekter. Det är svårt att dra slutsatser utifrån resultatet kring specifika metoder som skulle vara bäst lämpade för applicering inom järnvägen. ANN är en beprövad metod inom järnvägen vilket kan vara fördelaktigt. Tillika kan ensemblemodeller vara att föredra före övriga metoder, dock i bekostnad av utrymme och beräkningskostnad.

Utifrån studiens resultat identifierades flera utmaningar för nyttjande av AI för att nå strategiska mål. Dessa sex utmaningar anses vara: *datakvalitet, kunskap och kapacitet, datatillgång och sekretess, ej ändamålsenlig organisering av verksamhet och data, gammalmodig och trög bransch* samt *digitaliseringsstrategi inom branschen.* Pendeltågstrafiken innefattas enligt resultatet av ett *komplext system som är svårt att förändra.*

För att överkomma de utmaningar som finns behövs en kombination av flera åtgärder. Utifrån studiens resultat behövs en *förbättrad datahantering, ökad samverkan, ökad kompetens* samt *tydliggörelse och förändring av regelverk och säkerhetsaspekter*. Utifrån resultatet framkommer det att branschens genomsyras av vilja, men att satsningar och initiativ fortfarande till stor del saknas för att överkomma de utmaningar som finns inom Stockholms pendeltågstrafik.

Referenser

Abduljabbar, R., Dia, H., Liyanage, S. och Bagloee, S.A. 2019. *Applications of Artificial Intelligence in Transport: An Overview*, *Sustainability* (Basel, Switzerland), vol. 11, no. 1, pp. 189.

Albalate, A., Minker, W. och ebrary, I. 2011. *Semi-supervised and unsupervised machine learning: novel strategies*, ISTE. London; Hoboken, N.J.

Alonso, G., del Valle, E., Ramon Ramirez, J. 2020. *Optimization methods*, *In Woodhead Publishing Series in Energy, Desalination in Nuclear Power Plants,* Woodhead Publishing, Pages 67-76.

Alstom. 2020. *Alstom offers artificial intelligence solution to ensure passenger distancing and safety in trains and stations.* Tillgänglig online: https://www.alstom.com/press-releases-news/2020/6/alstom-offers-artificial-intelligence-solution-ensure-passenger [hämtad 2021-02-25]

Analytics Vidhya. 2014. *How does Artificial Neural Network (ANN) algorithm work? Simplified*! Tillgänglig online: *https://www.analyticsvidhya.com/blog/2014/10/ann-work-simplified/* [Hämtad 2021-02-23]

Andreasson, R., Jansson, A.A., Lindblom, J. 2019. *The coordination between train traffic controllers and train drivers: a distributed cognition perspective on railway,* Cognition, technology och work, vol. 21, no. 3, pp. 417-443.

Arweström Jansson, A. 2017. *Vad är det trafikledarna gör som automationen inte klarar? Tågtrafikstyrning med människan i centrum*. Slutrapport från UFTB-projektet. Institutionen för informationsteknologi, Uppsala universitet.

Chen, X. 2009. *Railway Passenger Volume Forecasting Based on Support Vector Machine and Genetic Algorithm*. Digital Manufacturing Technology Lab. Huaiyin Institute of Technology Huaian, China.

Chui, M., Manyika, J., Miremadi, M., Henke, N., Chung, R., Nel, P., Malhotra, S. 2018. *Notes from the AI frontier: Applications and value of deep learning.* McKinsey och Company. Discussion paper. Tillgänglig online: https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/notes-from-the-ai-frontier-applications-and-value-of-deep-learning# [hämtad 2021-01-27]

Chun, A. u.å. MTR: *Engineering works scheduling (2010)* Tillgänglig online: https://www.cs.cityu.edu.hk/~hwchun/AIProjects/stories/allocation/mtrcetms/ [hämtad 2021-02-25]

Chun, A., Suen, T. 2014. *Engineering works scheduling for Hong Kong´s rail network.* Association for advancement of artificial intelligence.

De Masellis, R. 2021. Personlig kommunikation. 8 mars 2021. Mejl.

Denscombe, M. 2014. *The good research guide: for small-scale social research projects.* McGraw-Hill Education (UK).

Dey, A. 2016. *Machine learning algorithms: a review*. International Journal of Computer Science and Information Technologies, 7(3), pp.1174-1179.

D-rail., u.å.-a. *About Us.* Tillgänglig online: https://www.d-rail.com/about-us/ [hämtad 2021-02-24]

D-rail., u.å.-b. *Our Clients.* Tillgänglig online: https://www.d-rail.com/clients/ [hämtad 2021-02-24]

Enerstvedt, R.T. 1971. *Vetenskap som pedagogik: En analys av vetenskapens medel o mål, Prisma/Verdandi, Stockholm*.

European Commission. u.å. *A European Green Deal.* Tillgänglig online: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en [hämtad 2021-05-24]

European Commission. 2020. *Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee of the Regions. COM* (2020) 789 final.

European Commission. 2021. *Trans-European Transport (TEN-T)* Tillgänglig online: https://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure/ten-t_en [hämtad 2021-02-25]

Falamarzi, A., Moridpour, S., Nazem, M. and Hesami, R. 2019. *Integration of genetic algorithm and support vector machine to predict rail track degradation*. In MATEC Web of Conferences (Vol. 259, p. 02007). EDP Sciences.

Ghoseiri, K. 2006. *A new idea for train scheduling using ant colony optimization. WIT Transactions on the Built Environment*. 88. 601-609.

Gioia, D.A., Corley, K.G. and Hamilton, A.L. 2013. *Seeking qualitative rigor in inductive research: Notes on the Gioia methodology.* Organizational research methods, 16(1), pp.15-31.

Greensmith, J., Whitbrook, A., och Aickelin, U. 2010. *Artificial immune systems. In Handbook of Metaheuristics* (pp. 421-448). Springer, Boston, MA.

Hansson. M. *Så ska människan och AI mötas – forskare berättar i ny video.* Tillgänglig online: https://www.umu.se/nyheter/sa-ska-manniskan-och-ai-motas--forskare-berattar-i-ny-video_10385887/ [hämtad: 2021-05-24]

Holme, I.M., Solvang, B.K. och Nilsson, B. 1997, *Forskningsmetodik: om kvalitativa och kvantitativa metoder, 2.*, [rev. och utök.] uppl. edn, Studentlitteratur, Lund.

Hu, C., Liu, X. 2016. *Modeling Track Geometry Degradation Using Support Vector Machine Technique*. Proceedings of the 2016 Joint Rail Conference. 2016 Joint Rail Conference. Columbia, South Carolina, USA.

Hunhammar, S., Krafft, M., Wildt, P., Wenner, P. 2019. *Tillgänglighet i ett hållbart samhälle – Målbild 2030*. Trafikverket. Tillgänglig online: https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/69456/Ineko.Product.RelatedFiles/2019_187_tillganglighet_i_ett_hallbart_samhalle.pdf [hämtad 2021-03-04]

Höök, P. 2020. *AI-fabrik för järnväg automatiserar drift och underhåll*. Dagens Näringsliv. Tillgänglig online: https://www.dagensnaringsliv.se/index.php/20200108/173316/ai-fabrik-jarnvag-automatiserar-drift-och-underhall [hämtad 2020-02-05]

IIT madras. u.å. *Optimization methods.* Tillgänglig online: https://mech.iitm.ac.in/nspch52.pdf [hämtad 2021-04-06]

JBS – järnvägsbranschens samverkanforum. 2020. *Slutrapport TTT:s AI-dialog.*

Jiang, C., Huang, P., Lessan, J., Fu, L. och Wen, C. 2018. *Forecasting primary delay recovery of high-speed railway using multiple linear regression, supporting vector machine, artificial neural network, and random forest regression.* Canadian Journal of Civil Engineering, 46(5), pp.353-363.

Johansson, M. och Bernsköld, C. 2016. *Framtidens järnväg stärker den svenska tillväxten.* Tillgänglig online: https://www.dagenssamhalle.se/samhalle-och-valfard/infrastruktur/framtidens-jarnvag-starker-den-svenska-tillvaxten/ [hämtad 2021-05-19]

Johansson, R. 2019. *Spårfordon i arbetsläge.* Trafikverket. Tillgänglig online: http://www.jarnvagskonsulterna.se/dokumentarkiv/TDOK_2017_0349.pdf [hämtad 2021-05-24]

Kavlakoglu, E. 2020. *AI vs machine learning vs deep learning vs neural networks: what's the difference?* IBM. Tillgänglig online: https://www.ibm.com/cloud/blog/ai-vs-machine-learning-vs-deep-learning-vs-neural-networks [hämtad 2021-03-08]

Kidong, L., David, B., Pervaiz, A. 2005. *A comparison of supervised and unsupervised neural networks in predicting bankruptcy of Korean firms*, Expert Systems with Applications, Volume 29, Issue 1, Pages 1-16,

Kvale, S. 2007. *Doing interviews*, Sage Publications, Ltd, London.

Kumar, M., Husain, M., Upreti, N., Gupta, D. 2010. *Genetic algorithm: Review and application.*

Kunskapsförmedlingen. u.å. *Predictive maintanance using advanced cluster analysis. (PACA)* Tillgänglig online: https://kunskapsformedlingen.se/projekt/predictive-maintenance-using-advanced-cluster-analysis-paca/ [hämtad 2021-05-10]

Lidberg, J., Svärdby-Bergman, A., Trehag, J., Fredriksson, A., Rendalen, T., Hopstadius, J. 2019. *Big Data och kvalificerad analys/AI i tillgångsförvaltningen*. Trafikverket, UHtö konsult och IKTap konsult.

Lindé, P. 2019. *Molntjänster*. Tillgänglig online: https://mp.uu.se/web/info/stod/it-telefoni/it-servicedesk/moln [hämtad 2021-05-19]

Lopez Conde, M., Twinn, I. 2019. *How Artificial Intelligence is Making Transport Safer, Cleaner, More Reliable and Efficient in Emerging Markets.* International Finance Corporation. Note 75.

McKee, Alan. 2003, *Textual analysis: a beginner's guide*. Sage Publications, Ltd, London.

Miailhe, N., Hodes, C. 2017, *The Third Age of Artificial Intelligence*, Field actions science reports, pp. 6-11.

Microsoft. 2021. *Microsoft Teams – Meet, chat, call and collaborate at just one place.* Tillgänglig online: https://www.microsoft.com/en-ww/microsoft-teams/group-chat-software [hämtad 2021-04-12]

Miljödepartementet. 2017. *Det klimatpolitiska ramverket.* Tillgänglig online: https://www.regeringen.se/artiklar/2017/06/det-klimatpolitiska-ramverket/ [hämtad: 2021-05-24]

Mnif, S., Darmoul, S., Elkosantini, S., Ben Said, L. 2018. *An immune multiagent system to monitor and control public bus transportation systems.* Computational Intelligence. 34: 1245– 1276.

Moridpour, S., Mazloumi, E. and Hesami, R. 2017. *Application of artificial neural networks in predicting the degradation of tram tracks using maintenance data.* In Applied Big Data Analytics in Operations Management (pp. 30-54). IGI Global.

Mor-Yaroslavtsev, A., och Levchenkov, A. 2009. Modeling of artificial immune systems for railway electric transport control. Transport och Engineering, 32.

Moujahid, A., Tantaoui ElAraki, M., Dulva Hina, M., Soukane, A., Ortalda, A., Elkhadimi, A., Ramdane-Cherif, A. 2018. *Machine Learning Techniques in ADAS: A Review,* International Conference on Advances in Computing and Communication Engineering (ICACCE), Paris, 2018, pp. 235-242.

Muca, V. 2017. *Textanalys.* Malmö Högskola. Tillgänglig online: https://www.studocu.com/sv/document/malmoe-hoegskola/vetenskaplig-metod/foerelaesningsanteckningar/textanalys/2220713/view [hämtad 2021-03-01]

MTR. 2019. *MTR vann pendeltågsupphandlingen i Stockholm.* Tillgänglig online: https://www.mtrnordic.se/om-oss/nyheter/pendeltagen/ [hämtad 2021-05-18]

MTR. 2021. *MTR Pendeltågen,* Tillgänglig online: https://www.mtrnordic.se/verksamheter/pendeltagen/ [hämtad 2021-02-11]

Narayan, V., 2004. *Effective maintenance management: risk and reliability strategies for optimizing performance.* Industrial Press Inc. New York.

Nationalencyklopedin, u.å.-a, *Pendeltåg*. Tillgänglig online: http://www.ne.se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/pendeltåg [hämtad 2021-02-15]

Nationalencyklopedin, u.å.-b, *Järnvägens historia i Sverige*. Tillgänglig online: https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/j%C3%A4rnv%C3%A4g/j%C3%A4rnv%C3%A4gens-historia-i-sverige [hämtad: 2021-02-16]

Nationalencyklopedin u.å.-c, *Grundad teori.* Tillgänglig online: https://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/grundad-teori [hämtad 2021-06-07]

Niestadt, M., Debyser, A., Scordamaglia, D., Pape, M. 2019. *Artificial intelligence in transport Current and future developments, opportunities and challenges.* European Parliamentary Research Service.

Regeringskansliet. u.å. *Mål för transportpolitiken*. Tillgänglig online: https://www.regeringen.se/regeringens-politik/transporter-och-infrastruktur/mal-for-transporter-och-infrastruktur/ [hämtad 2021-03-29]

Russell, S., Norvig, P. 2002. *Artificial intelligence: a modern approach.*

Sama, M., Pellegrini, P., D'Ariano, A., Rodriguez, J. and Pacciarelli, D. 2016. *Ant colony optimization for the real-time train routing selection problem.* Transportation Research Part B: Methodological, 85, pp.89-108.

Santur, Y., Karaköse, M. and Akin, E. 2016. *Random forest-based diagnosis approach for rail fault inspection in railways.* In 2016 National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering (ELECO) (pp. 745-750).

Saunders, M., Lewis, P. och Thornhill, A. 2016. *Research methods for business students,* 7.th edn, Harlow: Pearson Education.

SL. 2012. *Årsberättelse 2012.*

Spross, E. 2020. *Konsten att skapa ett hållbart transportsystem*. [Fotografi] Sweco. Tillgänglig online: https://blogs.sweco.se/att-skapa-ett-hallbart-transportsystem/ [hämtad 2021-04-27]

Statsexchange. 2015. *What is "Prediction Accuracy (AUC)", and how is it the number conducted in Machine Learning?* Tillgänglig online: https://stats.stackexchange.com/questions/143079/what-is-prediction-accuracy-auc-and-how-is-it-the-number-conducted-in-machi [hämtad 2021-04-01]

Stützle, T., Dorigo, M. 1999. *ACO algorithms for the traveling salesman problem.* Evolutionary algorithms in engineering and computer science, 4, pp.163-183.

Sveriges miljömål. *Sveriges miljömål.* u.å. Tillgänglig online: https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/ [hämtad 2021-03-29]

Swedtrain. u.å.-a. *Järnvägsbranschen*. Tillgänglig online: https://www.swedtrain.org/jarnvagsbranschen/ [hämtad 2021-02-08]

Swedtrain. u.å.-b. *Politik, lagstiftning och myndigheter*. Tillgänglig online: https://www.swedtrain.org/jarnvagsbranschen/vem-gor-vad-i-jarnvagsbranschen/politik-lagstiftning-och-myndigheter/ [hämtad 2021-02-08]

Szu, H., The Al Working Group. 2019. *Chapter 3 - Third Gen AI as Human Experience Based Expert Systems. Artificial Intelligence in the Age of Neural Networks and Brain Computing.*

Söör, J. 2018. *Nya spår på gammal räls: om svensk järnväg och när MTR Express utmanade SJ,* Roos och Tegner, Malmö.

Söör, J. 2019a. *Nya spår på gammal räls: om svensk järnväg och när MTR Express utmanade SJ (e-bok),* Roos och Tegner, Malmö.

Söör, J. 2019b. *Världens mest avreglerade järnväg*. Smedjan. https://timbro.se/smedjan/varldens-mest-avreglerade-jarnvag/ [hämtad 2021-01-28]

Tang, K.N. 2019, *Leadership and Change Management,* Springer, S.l

Trafikanalys. 2018. *Bantrafik 2017*. Rapport.

Trafikförvaltningen. 2015a. *Uppdragsavtal mellan Stockholm läns landsting och MTR Gamma AB – avseende pendeltågsverksamheten i Stockholmregionen.*

Trafikförvaltningen. 2015b. E24 *Bilaga 7B – Ersättning och incitament.*

Trafikverket. u.å. *Några termer och definitioner inom UNDERHÅLL – använda i Gus-Gemensamt underhållsstöd.* Tillgänglig online: https://www.trafikverket.se/contentassets/49a43f5eddd545b0ac187293e348e84c/gus-termer-och-definitioner_200824.pdf [hämtad 2021-05-24]

Trafikverket. 2016. *Tågplan – att skapa tidtabeller för tåg*. Tillgänglig online: https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/jarnvag/tagplan-att-skapa-tidtabeller-for-tag/ [hämtad 2021-05-05]

Trafikverket. 2018. *Så sköter vi järnvägen och spår för pendeltåg*. Tillgänglig online: https://www.trafikverket.se/nara-dig/Stockholm/jarnvag-pendeltag/ [hämtad 2021-02-10]

Trafikverket. 2019. *Digitalisering av tåglägestjänsten (DAT).* Tillgänglig online: https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/jarnvag/Kapacitet/dat--digitalisering-av-taglagestjansten/ [hämtad 2021-05-19]

Trafikverket. 2020a. *Underhåll av järnvägssystemet*. Tillgänglig online: https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall-av-vag-och-jarnvag/Sa-skoter-vi-jarnvagar/Underhall-av-jarnvagssystemet/ [hämtad 2020-02-04]

Trafikverket. 2020b. *Trafikverkets uppdrag.* Tillgänglig online: https://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/trafikverkets-

uppdrag/#:~:text=Trafikverkets%20uppdrag%20%C3%A4r%20att%20ansvara,av%20statliga%20v%C3%A4gar%20och%20j%C3%A4rnv%C3%A4gar [hämtad 2021-02-22]

Trafikverket. 2020c. *Tillgänglighet i ett hållbart samhälle.* Tillgänglig online: https://www.trafikverket.se/om-oss/vi-gor-sverige-narmare/tillganglighet-i-ett-hallbart-samhalle/ [hämtad 2021-03-04]

Trafikverket. 2020d. *Trafikledning*. Tillgänglig online: https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/trafikinformation/Trafikledning/ [hämtad 2021-03-04]

Trafikverket Region Stockholm, Trafikförvaltningen. 2020. *Åtgärdsvalsstudie - Utveckling av pendeltågstrafiken i Stockholm, slutrapport.*

Trafikverket Forskning och Innovation. u.å. *Utvecklingsprojekt - AIRT (AI-baserad realtidsprognostisering av Trafikinformation.*

Transportstyrelsen. 2018. *Transportmarknaden i siffror 2018 - Översikt av utvecklingen på marknaderna för väg- och järnvägstransporter.* Tillgänglig online: https://www.transportstyrelsen.se/globalassets/global/publikationer/marknadsovervakning/transportmarknaden-i-siffror-2018.pdf [hämtad 20201-05-18]

Transportstyrelsen. 2020. *EU-lagstiftning.* Tillgänglig online: https://www.transportstyrelsen.se/sv/Regler/Regler-for-jarnvag/eu-lagstiftning/ [hämtad 2021-02-11]

Tricentis. 2021. *AI Approaches Compared: Rule-Based Testing vs. Learning.* Tillgänglig online: https://www.tricentis.com/artificial-intelligence-software-testing/ai-approaches-rule-based-testing-vs-learning/#:~:text=There%20are%20several%20approaches%20to%20implement%20AI.&text=A%20computer%20system%20that%20achieves,is%20called%20a%20learning%20system. [hämtad 2021-05-11]

Tschirner, S., Sandblad, B. och Andersson, A.W. 2014, *Solutions to the problem of inconsistent plans in railway traffic operation*, Journal of rail transport planning & management, vol. 4, no. 4, pp. 87-97.

Tormos, P., Lova, A., Barber, F., Ingolotti, L., Abril, M. and Salido, M.A. 2008. *A genetic algorithm for railway scheduling problems.* In Metaheuristics for scheduling in industrial and manufacturing applications (pp. 255-276). Springer, Berlin, Heidelberg.

UITP. 2020. *Artificial intelligence in mass public transport - Executive summary.* Tillgänglig online: https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2020/09/AI_PT_ExecutiveSummary_UITP_APCTE.pdf [hämtad 2021-01-22]

Vinnova. 2018. *Artificiell intelligens i svenskt näringsliv och samhälle - Analys av utveckling och potential.* Slutrapport. Dnr 2017–05616.

Walliman, N. 2006. *Social research methods,* Sage Publications, Ltd, London.

Westman Svenselius, M. 2018. *Sätt människan i centrum för AI-forskningen.* Linköpings universitet. Tillgänglig online: https://liu.se/nyhet/satt-manniskan-i-centrum-for-ai-forskningen [hämtad 2021-02-24]

Wikipedia. 2020. *Stockholms pendeltåg.* [Fotografi] Tillgänglig online: https://sv.wikipedia.org/wiki/Stockholms_pendelt%C3%A5g [hämtad 2021-02-22]

Xie, J., Huang, J., Zeng, C., Jiang, S., Podlich, N. 2020. *Systematic Literature Review on Data-Driven Models for Predictive Maintenance of Railway Track: Implications in Geotechnical Engineering*, Geosciences 10, no. 11: 425.

Yang, L. och Li, S. 2019. *Special issue on "Railway traffic management and control",* Computers & industrial engineering, vol. 127, pp. 1130-1130.

Yao, R. 2018. *How Swiss Federal Railway Is Improving Passenger Safety With The Power Of Deep Learning*. Forbes. Tillgänglig online: https://www.forbes.com/sites/nvidia/2018/08/02/how-swiss-federal-railway-is-improving-passenger-safety-with-the-power-of-deep-learning/?sh=7f0d05d750e3 [hämtad 2021-02-25]

Yin, R.K. 2014. *Case Study Research: Design and Method*. 5th edn. London: Sage.

Zandan, P. 2019. *Not "either/or" but "yes, and:" Humans trust algorithms more than we think.* Hill + Knowlton Strategies. Tillgänglig online: https://www.hkstrategies.com/en/not-either-or-but-yes-and-humans-trust-algorithms-more-than-we-think/

Ågren, P. 2019. *Den tredje AI-vågen – essäer om AI, samhället och individen.* BoD GmbH, Stockholm, Sverige. Tillgänglig online: https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1375252/FULLTEXT01.pdf [hämtad 2021-02-24]

Bilaga 1

Tabell 1: Representativ data för frågeställning 1. R1 står för respondent 1, R2 för respondent 2 och så vidare.

Dimensioner och teman	*Representativa citat*
AI potential - Mer attraktiv och effektiv verksamhet	
AI potential inom flera områden	"Att få fordonen att må bättre och att bli mer robusta. Det är väl den stora potentialen. Att jobba prediktivt är min stora drivkraft." (R4) "En är det här med resenärsinformation som sagt. Att man ska kunna ge prognoser i realtid. /.../. I trafikledning bör det också vara relevant att kunna göra såna prognoser, men dom prognoserna kommer nog se lite annorlunda ut för de är mer för trafikledningsbeslut /.../ "(R1)
Gott samarbete	"Ja skulle säga att man har en väldigt god relation, som man har byggt upp under lång tid, de är vana vid att samarbeta" (R5) "Finns ett antal strukturer som vi samarbetar med branschen i. Men vi levererar ju infrastrukturen och MTR dom äger ju fordonen och sen bidrar dom med mycket data till oss från fordon. Dom är ganska på oss för att försöka att få oss till använda den information som dom kan ge via fordon. Jag vill säga att dom är drivande för oss till en viss del. Sen måste vi se hur vi kan ta deras idéer vidare in i vår verksamhet, men jag känner att dom är på och konstruktiva och jag vill säga att vi har en bra relation med dom. "(R10)
Stora volymer data	"En riktigt enorm befintlig data /…/ från olika IT-system som jag nämnde att de innehåller ganska stora mängder data, för data i det formatet som man säger, rådata, saknas inte. " (R9) "Det är väldigt mycket data som flödar men de är liten stilorienterat så man kan säga att teknikområdena som signalsystem eller spåren eller elkraftsystem de har en massa data som flödar men vi har liksom inte gjort det på något enhetligt sätt så just nu jobbar vi " (R10)
Digitalisering centralt hos aktörer och ledning	"Och sen så håller vi också på att jobba med en övergripande digitaliseringsplan på trafikförvaltningen" (R7) "Det finns digitaliseringsstrategier på Trafikverkets nivå "(R9) "Ja, jag tycker att vi har ett jättebra stöd"/.../ (R10) "Ja men det skulle jag säga, nu när vi har den här strategin lagd så, det är en väldigt aktuell fråga och den kommer hela vägen från högsta ledningen på trafikförvaltningen, trafikdirektör." (R6)

Tabell 2: Representativ data för frågeställning 2. R1 står för respondent 1, R2 för respondent 2 och så vidare.

Dimensioner och teman	*Representativa citat*
Komplext system som är svårt att förändra	
Gammalmodig och trög bransch	"Ganska omogen bransch. Vi står fortfarande och trampar ganska ganska långt bak i den utvecklingsstegen.**"** (R4) "Så det är ett av dom stora hindren att branschen är lite som ett gammalt skråväsen. Att man lär sig den långa vägen och ingenjörer från tekniska högskolor är väldigt få. När det gäller järnvägsdriften. De bygger mer nya järnvägar och så. Kanske underhåll också, men det tror jag också är en del av skråret."(R3).
Saknas kunskap- och kompetens	/…/ det svåra i gapet är ju att man dels måste kunna någonting om metoderna maskininlärning och vad kan de göra och så måste man kunna en del om tillämpningarna liksom vad är då har man för problem om man måste kunna domänen och det är liksom de som kan båda dom är inte jättemånga (R1). "Ett förbättringsområde är att stärka vår egen kompetens. För då blir vi mer effektiva i samarbete med branschen, operativa kompetens. Vi ska inte ha full volym men vi ska ha tillräckligt med operativ kompetens för att kunna jobba med marknaden." (R10)
Bristande dialog och samverkan mellan aktörer	"Det tycker jag att man skulle kunna jobba bättre med, att bli bättre på att ha en dialog under tiden det är en störning, men också bli bättre på att ha avslutande dialog efter störningar." (R5) "Tyvärr avtalsstyrt och juridiska bitar i det hela så vi kan ju inte göra vad vi vill och vi kan ju inte samarbeta exakt hur vi vill /.../ nuläget är det som sagt att vi inte har inte några riktiga avtal."(R4)
Problematik kring regelverk och sekretess	"För det är en sak att gå in och säga att allt ska vara jättesäkert och allt /…/. Då kan man alltid stoppa allt och allt går väldigt trögt framåt. Jag tycker att det skulle vara väldigt skönt om man hade någon form av överordnad strategi, där man värderar nyttan mot riskerna" (R1). "Det skulle vara skönt med en sådan riktning och sådana principer som säger att "Det någon kan se ändå via satellit, det är inte hemligt". Det finns en stor motsättning mellan att ha målsättningen att vilja digitalisera och våra lagar som faktiskt styr det" (R10).
Problematik kring delning av data	"/…/mycket av branschen är ju den är avreglerad och det är viktigt och det är viktigt med konkurrens och då är det viktigt att med affärshemligheter och sånt är viktigt också man kan inte säga sj kan eller MTR ska inte kunna komma till sj och säga okej hur många resenärer har ni på de här tågen vad har ni för beläggningsgrad på de här olika linjerna så att vi vet vilka linjen vi ska försöka köra konkurrera om och vilka ska vi skita i allt får vi ställa sådana krav på att det ska delas är liksom eller vad offentligt är ju liksom orimligt" (R1). "Eh, men det jag tycker med nu, och som vi pratar om mycket inom JBS är ju att kunna dela data. För det gör man inte alls idag knappt, iaf inte på ett strukturerat sätt." (R5)
Ej ändamålsenlig organisering av verksamhet och data	"Tyvärr, just AI har vi, vi kämpar fortfarande med att få att projekten ska bli en institutionalisering kan man säga, att vi går från ord till handling, det är det som vi saknar. Vi är på god väg, men tyvärr att själva implementeringen som vi inte än" (R9). "Vi samlar in data kan man säga. Och här kommer en av utmaningarna för hur man organiserar Alltid problematiskt med information på flera ställen. Alltid en jätteutmaning med hur ska man jobba med det, dels med helt automatiska system. Hur ska man jobba för att säkerhetsställa att sensorerna visar rätt" (R8).

Bristande datakvalitet

”Det som är, är att, data är säkerställd är säkerställd av samma personer som måste veta att data är säkerställd. Problemet är att om någon annan vill använda data till något annat syfte, något nytt syfte. Till exempel extra övervakning, för att förbättra underhåll exempelvis. Då kan man inte vara helt säker på att data är korrekt för då har man inte kvalificerat data för just den användningen.” (R10)

”Särskilt stora problem är vad gäller anläggningsdata så att man vet vad hu
r järnvägen ser ut var vad Finns var och vad har den för status alltså de grejerna och det har hämmat flera projekt att Man inte har tillräckligt bra koll på det.”(R1)

Tabell 3: Representativ data för frågeställning 3. R1 står för respondent 1, R2 för respondent 2 och så vidare.

Dimensioner och teman	*Representativa citat*
Vilja, satsningar och initiativ	
Förbättra datahantering	"Det är en del i vår strategi just nu; att försöka skapa en struktur där vi ska ställa krav att ni får jobba som ni vill, men sen när det kommer över data till oss så får vi det i ett visst format."(R10) "/.../det viktiga är när man kommer upp till aggregeringsnivå, då ser man riktig nytta på systemnivå. Hur kan jag prediktera anläggningen i större skala?" (R9)
Öka samverkan	"/…/mer effektivt och med ökad samverkan inom trafikförvaltningen t.ex. och våra samarbetsleverantörer." (R7) "/…/men det är viktigt att branschen emellan pratar med varann, samtidigt ska vi skydda branschens konkurrens... att vi är neutrala och att vi verkligen samarbetar med alla och att de emellan samarbetar med varandra utan att avslöja affärshemligheter men vi har god potential att skapa en bra arena tillsammans, utan att avslöja allt. "(R9) "Men att kunna samverka kräver gemensamma mål, och att kunna samverka inom den digitala världen så blir det ytterligare en utmaning, vad är det digitala målet för det här?"(R2)
Öka kompetensen	"Och lika att vi kan köpa färdiga lösningar från branschen eller från AI företag i framtiden, analysföretag. Det vill jag gärna, för att vi kan inte uppfylla hjul på alla hjul kan man säga. Det är att få den förmåga att inte bli så konservativ, den är viktig ur säkerhetssynpunkt att vi skapar förutsättningar för att köpa andras lösningar, digitala lösningar" (R10) "Att kunna distribuera för att underlätta det här trust aspekten, om du inte kan skicka mig data, men du kanske kan låta mig köra den algoritmen hos dig och skicka svaret till mig." (R2)
Tydliggöra och förändra regler och säkerhetsaspekter	"Men det bör kanske tydliggöras lite mer vad som egentligen… Vad som skulle vara det problematiska I datan vad är det som är farligt och se till att den informationen inte röjs."(R1) "Sen hantera molnfrågan- För som det är idag får vi inte jobba med moln och det måste vi lösa. idag får vi bara använda svenska moln. I exempelvis Norge får man använda moln. Det blir väldigt knöligt och mycket kvalitet vi går miste om. Detta är en aktuell fråga, så vi kollar på hur vi kan lösa det. Detta är ett jättestort hinder för oss. Speciellt ett jättestort hinder för utvecklingen av AI."(R10)