

Tillgänglighet för förarlösa fordon (TIFF)

Publik rapport



Författare: Lina Rylander & Håkan Warnquist
Datum: 2022-06-30
Projekt inom Effektiva och uppkopplade transportsystem

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning.....	4
2 Executive summary in English.....	4
3 Bakgrund	5
3.1 Avgränsningar.....	6
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	6
4.1 Syfte och forskningsfrågor	6
4.2 Metod	7
5 Mål.....	9
6 Resultat och måluppfyllelse	10
6.1 Analys	10
6.2 Design.....	12
6.3 Arbetspaketen	Fel! Bokmärket är inte definierat.
7 Spridning och publicering	18
7.1 Kunskaps- och resultatspridning.....	18
7.2 Publikationer	19
8 Slutsatser och fortsatt forskning	19
9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....	20
10 Referenser	20

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr.

För närvarande finns fem delprogram; Energi & Miljö, Trafiksäkerhet och automatiserade fordon, Elektronik, mjukvara och kommunikation, Hållbar produktion och Effektiva och uppkopplade transportsystem. Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

1 Sammanfattning

Självkörande och förarlösa fordon ses som en möjlig innovation som kan bidra till ett mer hållbart transportsystem. Ett exempel är att det skulle kunna bidra till mer ekonomisk hållbara transporter då förarkostnaderna utgör ca 30-60% av driftskostnaderna i kommersiell trafik för gods- och persontransporter.

En viktig parameter för att möjliggöra ett lönsamt, attraktivt och ekonomiskt hållbart transportsystem är att systemet har en hög nivå av uptime, eller tillgänglighet. En viktig faktor som påverkar tillgänglighet är fordonets funktionalitet och att dess system och komponenter fungerar och om fel uppstår behöver de detekteras och avhjälpas. För att hantera fordonsfel är dagens fordon utrustade med omborrdiagnos som kan detektera avvikelser i många av fordonets system och komponenter. Men det finns också fel och avvikelser som inte kan detekteras av fordonet, och där har föraren en viktig roll. För dessa fel agerar föraren som en sensor som exempelvis kan känna av avvikande vibrationer, lukt och ljud.

Syftet med projektet är att öka förståelsen för hur transporttjänsters tillgänglighet påverkas när lastbilar blir förarlösa och i det här projektet har förarens roll relaterat till fordonshälsa och tillgänglighet studerats. Metoder inom design och tjänstedesignfältet har använts för att analysera förarens roll och ta fram ett konceptförslag för hur hantering av fordonshälsa för förarlösa lastbilar kan designas. I projektet definieras transportsystemet som ett sociotekniskt system där både tekniska, kulturella, sociala aspekter beaktas.

Som en del av analysen identifierades att beslutsfattning är en viktig del av systemet och att intelligent beslutsfattning skulle kunna stötta systemets aktörer. När ett fel uppstår på lastbilen är tiden som fordonet kan fortsätta köra osäker vilket leder till att förlusten på grund av minskad tillgänglighet samt underhållskostnaden är osäkra. I det här fallet designades en underhållsplaneringsmodell genom att använda en riskbaserad beslutsmetod.

I studien undersöktes hur ett fjärrövervakningscenter kan stötta tillgänglighet genom att på distans övervaka förarlösa fordon. Systemdesign förslaget innefattar två olika operatörer med olika kompetens. En operatör som hanterar planering och hantering av fordonsflottan och en operatör som har mer kunskap kring fordonsfel som kan bistå med rådgivning om fel uppstår på ett fordon. Dessutom sammanställdes fem temaområden som kan påverka tillgängligheten då föraren är borta: 1) Fel-detektion och övervakning, 2) Beslutsfattande och åtgärder, 3) Informationsutbyte, kommunikation och analys, 4) Informationsinsamling och diagnos, 5) Erfarenhet och lärande.

Projektet bidrar till utvecklingen av hållbara transporter i ett framtida transportsystem genom att föreslå en systemdesign för hantering av fordonshälsa för förarlösa fordon. Resultatet har både genererat nya insikter och ifrågasatt existerande antaganden kring hantering av fordonshälsa.

2 Executive summary in English

Self-driving and driverless vehicles are one possible innovations that can contribute to a more sustainable transport system. An example is that it could contribute to more economically sustainable transport as driver costs make up about 30-60% of the operating costs in commercial traffic for freight and passenger transport.

An essential parameter for requiring a profitable, attractive, and economically sustainable transport system is that the system has a high level of operating time or availability, often called

uptime in the transportation industry. An important factor that affects uptime is the vehicle's functionality and that its systems and components work, and if a fault occurs it needs to be detected and remedied. Today's trucks are equipped with onboard diagnostics that deal with faults. The onboard diagnostics can detect deviations in many vehicle systems and components. But some faults and deviations cannot be detected by the vehicle, only by the driver, which gives the driver a critical role. For these faults, the driver acts as a sensor that can, for example, detect deviating vibrations, smells, and sounds. It is also assumed that the driver is important for decision-making in these situations.

The purpose of the project is to increase the understanding of how uptime of transport services is affected when trucks become driverless. In this project, the driver's role is related to vehicle health. Methods in the design and service design field have been used to analyze the driver's role and produce a concept proposal for how the management of vehicle health for driverless trucks can be designed. In the project, the transport system is defined as a socio-technical system where both technical, cultural, and social aspects are considered.

As part of the analysis, it is identified that decision-making is an important part of the system, and that intelligent decision-making could offend the system's actors. For example, when a fault occurs on the vehicle, the time that the vehicle can continue to drive is uncertain, leading to economical loss due to reduced uptime and uncertain maintenance costs. In this case, a maintenance planning model was designed using a risk-based decision-making method.

The study investigated how a remote-control center can support uptime by remote monitoring of driverless vehicles. The system design proposal includes two different operators with different competencies. One operator who handles vehicle planning and handling of the vehicle fleet and one operator who has more knowledge about vehicle faults and can assist with advice if faults occur on a vehicle. In addition, five thematic areas were compiled that can affect accessibility when the driver is away: 1) Fault detection and monitoring, 2) Decision-making and action, 3) Information exchange, communication, and analysis, 4) Information retrieval and diagnosis, and 5) Experience and learning.

The project contributes to the development of sustainable transport in a future transport system by proposing a system design for managing vehicle health for driverless vehicles. The result generated new insights and questioned existing assumptions about handling vehicle health.

3 Bakgrund

Transportindustrin står inför stora utmaningar för att erbjuda transportlösningar som är socialt, miljömässigt och ekonomiskt hållbara och självkörande och förarlösa fordon ses som en möjlig innovation som kan bidra till ett mer hållbart transportsystem (Andersson & Ivehammar, 2019; International Transport Forum, 2017; Kristoffersson & Pernestål Brenden, 2018). En av motiveringarna kring nyttan av förarlösa fordon är att förarkostnaderna utgör ca 30-60% av driftskostnaderna i kommersiell trafik för gods- och persontransporter. Ett annat exempel är att förarlösa fordon kan bidra till ett mer effektivt transport system (Kristoffersson & Pernestål Brenden, 2018) vilket kan bidra till att fordonen blir mer bränsleeffektiva. Det finns därför ett ekonomiskt intresse för att implementera förarlösa fordon och de kan även möjliggöra nya typer av transporttjänster.

Definitionen av förarlösa fordon i det här projektet kan beskrivas utifrån SAEs nivåer för autonom drift (SAE International, 2018). I det här projektet beaktas nivå 4 och 5 vilket innebär att fordonet ska kunna hantera sin framdrift utan att ingripande från en människa. Förutsättningarna är sådana att ingen människa är ombord på fordonet.

En viktig parameter för att möjliggöra ett lönsamt, attraktivt och ekonomiskt hållbart transportsystem är att systemet har en hög nivå av uptime, eller tillgänglighet. En viktig faktor som påverkar tillgänglighet är fordonets funktionalitet och att dess system och komponenter fungerar och om fel uppstår behöver de detekteras och avhjälpas. I det här projektet definieras tillgänglighet som den tid då fordonet kan utföra sitt uppdrag enligt plan. Om till exempel ett fel uppstår räknas den tiden som downtime, och då försämras tillgängligheten.

De fordon som avses i det här projektet är lastbilar som utför godstransport. Tillgänglighet kan stöttas av eftermarknaden, vilket är den marknad som erbjuder tjänster för underhåll och reparationer av lastbilarna. För att hantera fordonsfel är dagens lastbilar utrustade med omborddiagnos som kan detektera avvikelser i många av lastbilens system och komponenter. Men det finns också fel och avvikelser som inte kan detekteras av lastbilen, och där har föraren en viktig roll. För dessa fel agerar föraren som en sensor som exempelvis kan känna av avvikande vibrationer, lukt och ljud. Här antas även förarens roll som beslutsfattare spela en viktig roll.

Vid en introduktion av förarlösa lastbilar kommer förutsättningarna kring tillgänglighet att påverkas och de finns ett behov av mer kunskap kring hur man kan uppnå en hög nivå av tillgänglighet när det inte finns någon förare ombord och ett antagande är att det kommer bli mer utmanande att felsöka förarlösa fordon (Lanigan et al., 2011). Det här projektet har fokuserat på hur man kan designa om eftermarknaden för att möjliggöra en hög tillgänglighet för förarlösa lastbilar. Designen har inspirerats av ett ramverk som kallas för Integrated Vehicle Health Management (IVHM) (Redding, 2011).

Avgränsningar

Det här projektet undersöker tillgänglighet och påverkan av tillgänglighet utifrån ett eftermarknadsperspektiv. Det vill säga, projektet beaktar tillgänglighet i relation till fordonshälsa som exempelvis avvikelser och fordonsfel, avhjälpning av fel, och övervakning av fordonshälsa. Aspekter som planering, logistik, eller framdrift kan också påverka tillgängligheten i transportsystemet men beaktas inte i det här projektet.

I designfasen antogs att förarlösa lastbilar kommer att vara uppkopplade och att det således möjliggör en interaktion mellan exempelvis en människa och lastbilarna. Även underlag från litteratur har används för att illustrera möjliga affärsmodeller för fordonstillverkare och nya transportlösningar för förarlösa lastbilar (Monios & Bergqvist, 2020).

Projektet studerar förarlösa lastbilar i kommersiell drift och har fokuserat på tunga godstransporter.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

I det här avsnittet presenteras projektets syfte, forskningsfrågor och metod i TIFF-projektet. I projektet adresseras en övergripande forskningsfråga samt underliggande frågor som är indelade i två områden; analys och design. För att underlätta presentationen kommer därför dessa områden att användas för att skapa en struktur i redovisningen genomgående i rapporten.

Syfte och forskningsfrågor

Syftet med projektet är att öka förståelsen för hur transporttjänsters tillgänglighet påverkas när fordonen blir förarlösa.

För att besvara syftet adresserades en övergripande forskningsfråga i projektbeskrivningen:

- Hur kan tillgängligheten till förarlösa fordon och system med förarlösa fordon maximeras?

Underliggande forskningsfrågor är indelad i två olika huvudområden: analys och design.

Analys

- 1) Vilka konsekvenser får det för tillgänglighet, feldiagnos och beslutsfattande när fordon i kommersiell drift blir förarlösa?
 - a) Vilka uppgifter görs av föraren idag relaterat till diagnos, felsökning och beslutsfattande?
 - b) Vilken information skapar och bearbetar föraren i dessa fall?
 - c) Vilken information lämnar föraren över till dagens ledningscentral eller till verkstäderna idag?
 - d) Vilka nya möjligheter för diagnos och beslutsfattande ger det nya systemet med uppkopplade (informationsrika) förarlösa fordon, kontrollrum, och verkstad?
 - e) Vilka är skillnaderna för hantering av felfall för helt autonoma fordon (dvs förarlösa utan tillgång till kontrolltorn) jämfört med förarlösa fordon som är uppkopplade mot ett kontrollrum och en verkstad?

Design

- 2) Hur ska system för diagnos och beslutsfattande designas och implementeras för att säkerställa hög tillgänglighet och stödja trafiksäkerhet för förarlösa fordon i ett transportsystem¹?
 - a) Hur ska ansvar och information fördelas mellan olika aktörer (fordon, kontrolltorn, mekaniker, assistanspersonal) för att nå hög tillgänglighet, säkerhet och minimera trafikstörningar?
 - b) Hur ska en arkitektur som stödjer detta se ut? I arkitekturen ingår både fordon och andra system-komponenter som exempelvis kontrolltorn och verkstad.
 - c) Hur kan detta nya system med uppkopplade fordon, kontrolltorn och verkstad utnyttjas på för att nå högsta möjliga säkerhet och tillgänglighet?

Metod

Implementeringen av förarlösa lastbilar kommer att påverka transportsystemet och det kommer innebära att transportsystemet genomgår en omstörtande (så som engelskans disruptive) förändring. Denna förändring är ännu relativt okänd eftersom det finns mycket få exempel att studera och lite forskning på ämnet. Det innebär en utmanade situation då viktiga variabler kan vara okända. För att utforska det som ännu inte är känt kan design vara en användbar metod för att ta reda på hur framtiden skulle kunna vara (Simon, 2019). Metoder som har används i projektet är hämtade från designfältet, där ordet design används som ett verb för att beskriva att designmetoder används för problemlösning (Buchanan, 2001; Eneberg, 2012). Framförallt har metoder från tjänstedesignfältet används då dessa metoder stödjer ett integrerat och holistiskt perspektiv och möjliggör exempelvis identifiering av användarupplevelser (Stickdorn et al., 2018). Metodiken för projektet har inspirerats av Gioia et al. (2013). Syftet med den metodiken är att bygga robusthet i induktiva studier och ge en systematisk process för insamling, analys och teoretisering av kvalitativa data.

En förutsättning för utforskandet var antagandet att de förarlösa lastbilarna har teknisk kapacitet för uppkoppling och fjärrinteraktion.

Analys

Analysen i projektet började med två fältstudier där en verkstad och ett åkeri besöktes under hösten 2019. Båda organisationerna identifierades som intressanta för att förstå förarens roll då fel uppstår på lastbilarna. Syftet med fältstudierna var att samla in data som kunde användas för

¹ Med transportsystem avser vi här (flera) lastbilar, kontrollrum/ledningscentral, och verkstad

att senare formulera en intervjuguide. Målet var att utforska arbetsrutiner, interaktioner och aktiviteter. Under fältstudierna gjordes informella intervjuer med förare och personal på verkstaden. Senare togs en intervjuguide fram baserat på resultatet från fältstudierna. Sammanlagt genomfördes elva semi-strukturerade intervjuer med verkstadspersonal och förare. Två verkstäder besöktes i Mälardalsregionen och intervjuerna med förarna utfördes under drift då förarna levererade gods mellan Södertälje och Jönköping, samt i Södertäljeområdet. Syftet med intervjuerna var att öka förståelsen för de olika respondenternas perspektiv och hur dom är involverade i felhantering och felsökning av lastbilarna, vilka dom interagerar med, deras relationer och drivkrafter. Intervjuerna i verkstaden spelades in och transkriberades och intervjuerna med förarna nedtecknades. Resultatet av intervjuerna kunde sedan formuleras i fem temaområden som bör beaktas vid designen av ett system för hantering av fordonshälsa för förarlösa lastbilar.

För att kunna ta fram ett designförslag på ett nytt system behövdes förarnas roll visualiseras och i projektet beslutades att använda felscenarion för att visualisera förarens roll för några utvalda felfall. Felfallen valdes ut baserat på kunskapen från intervjuerna och för de fall där detektion och utvärdering av felet var beroende av förarens närvaro. Tillsammans med tre experter på Scania utvecklades dessa felfall till realistiska felscenarion.

Vissa komponenter i autonoma system arbetar i mycket komplexa sammanhang för att ta beslut. Det finns ett behov av att utreda och utveckla nya metoder för att felsöka dessa komponenter på verkstad när det inte finns en förare som kan beskriva felet. Metoden för att utreda var med hjälp av process FMEA med fokus på reparation och underhåll för att kartlägga och riskanalyser komponenterna och dessas funktioner.

Design

Första steget i designprocessen var att utforska framtiden tillsammans med sex experter på Scania som alla är involverade i utveckling av förarlösa lastbilar eller fordonsdiagnos. Metoden som användes var en workshop där deltagarna blev indelade i två grupper och fick var sitt felscenario att utforska. Syftet var att deltagarna skulle utforska var som händer i scenariot då föraren försvinner, och hur en potentiell lösning skulle kunna se ut. För att förstärka diskussionen användes en digitaltavla som kallas Miro. Där visualiserades olika aktörer, artefakter och platser för att stötta deltagarna i deras utforskande. En viktig hypotes som testades under workshopen var användandet av ett fjärrövervakningscenter och hur det skulle kunna stötta hantering av fordonshälsa. Två forskningsdeltagare medverkade och tog anteckningar under gruppdiskussionerna. Sedan genomfördes en gemensam grupppresentation och diskussion som spelades in och transkriberades.

Baserat på den kunskap som genererades under workshopen formulerades ett antal designkriterier för ett digitalt verktyg för ett fjärrövervakningscenter. Syftet med verktyget är att stötta en människa i att interagera med ett förarlösa lastbilar och kunna fatta beslut om fel uppstår på lastbilen. Verktyget togs fram som en digital prototypen och var en del av den demonstrator som utvecklades i projektet. Prototypen användes sedan för att utvärdera behovet av fjärrövervakning och hantering av förarlösa lastbilar genom att låta sex potentiella framtida användare testa prototypen och använda den för olika scenarion. Intervjuerna spelades in och analyserades. Resultatet användes bland annat för att uppdatera prototypen samt omformulera de fem temaområden som bör beaktas vid designen av ett system för hantering av fordonshälsa.

Som ett led i designen av ett system för hantering av fordonshälsa identifierades beslutsfattning som en viktig aspekt när föraren inte längre är ombord på lastbilen. I studien identifierades ett behov av intelligenta beslutsfattare, som exempelvis kan stötta en operatör i ett fjärrövervakningscenter. I projektet formuleras underhållsplanering som ett beslutsproblem där beslutsriteriet är den ekonomiska förlust som orsakas av tillgänglighetsförlust och

underhållskostnad. En riskbaserad beslutsmetod används eftersom riskbedömning är ett användbart verktyg för att hantera osäkra frågor och kvantifiera osäkra effekter. Den föreslagna modellen presenteras genom numeriska experiment som illustrerar verkliga scenarier.

Den demonstrator som togs fram i projektet är en metod för nå gemensam förståelse av projektresultaten genom att illustrera för projektets olika intressenter hur de olika aktörerna så som operatörer, verkstadspersonal och assistanspersonal ska kunna samverka med tekniken. Denna demonstrator ger också en möjlighet validera och analysera antaganden som görs i projektet.

5 Mål

Projektets övergripande mål är att tillhandahålla trafiksäkra transportsystem med hög tillgänglighet vilket är avgörande för fordonstillverkare för att vara konkurrenskraftiga. Detta gäller inte minst när transportsystemen blir automatiserade. Projektets mål är även att bidra med ökad kunskap om hur tillgängligheten i ett transportsystem med kommersiella förarlösa lastbilar påverkas av olika faktorer och designval. I projektet studeras i synnerhet förarlösa lastbilar, men resultaten från projektet är även vara användbara för fordon med lägre grad av automatisering.

Som helhet har projektet genomförts med ett lyckat resultat där projektet har levererat svar på majoriteten av de frågor som adresserades i projektbeskrivningen. Som ett led i resultatet av forskningen har vissa forskningsfrågor omformulerats och en har tagits bort. I projektbeskrivningen används termen *diagnos* eller *feldiagnos*. Dessa termer har istället ändrats till *hantering av fordonshälsa*. Fråga 1e) beslutades att strykas då interaktionen mellan fordon och människa ansågs vara en så pass viktig del för tillgänglighet att det inte ansågs relevant att designa ett koncept utan ett fjärrövervakningscenter. Dock skulle denna fråga kunna vara relevant i ett framtida projekt när tekniken för förarlösa fordon är mogen för att överlåta allt ansvar till fordonen. I projektbeskrivningen formulerades ett av målet att projektet skulle utvärdera hur systemet påverkas av olika faktorer och designval. I projektet har inte olika designalternativ utvärderats mot varandra. Istället formulerades fem temaområden som bör beaktas vid designen av system som kan stötta fordonshälsa för förarlösa fordon. Dessa temaområden redovisar olika faktorer och möjliga designval.

En aspekt som har påverkat projektet är att förarlösa fordon har visat på ökad komplexitet både i utvecklingsstadiet och i ett framtida transportsystem. För att hantera den ökade komplexiteten blev en naturlig vidareutveckling av projektets frågeställning hur man kan studera förändringar av komplexa system. Det resulterade i en kompletterande forskningsfråga:

- 3) Hur kan design metoder användas för att bidra till förändringar av sociotekniska system, så som transportsystemet.

Ytterligare en aspekt som påverkade projektet var Covid-19. Främst påverkades valet av forskningsmetoder eftersom det inte var lämpligt att samla människor i grupp och ha gemensamma forskningsaktiviteter. Exempelvis har hälften av intervjuerna skett via Microsoft Teams och även en större workshop har genomförts över Microsoft Teams. Från projektets forskningsgrupp har detta inte noterats som något som skulle ha haft negativ påverkan på projektets forskningsresultat.

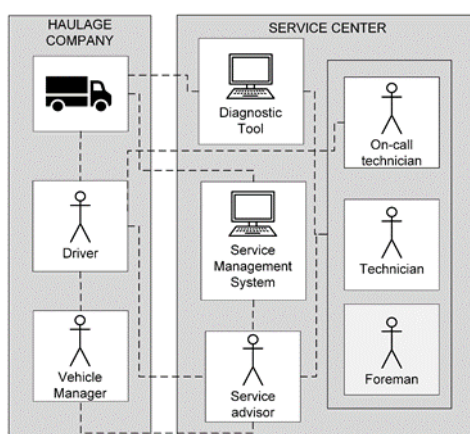
6 Resultat och måluppfyllelse

Resultatet från projektet är indelat efter de två huvudområdena analys och design. Resultatet för de två respektive områdena diskuteras i följande kapitel där viktiga nyckelresultat presenteras.

Analys

Roller och ansvar

Första delen i analysen var att identifiera vilka aktörer som är verksamma i systemet för fordonshälsa. Efter intervjuerna togs en aktörskarta fram med de nyckelaktörer som hade identifierats, se systemkartan i Figur 1. Rollerna beskrivs i Tabell 1.



Figur 1. Systemkarta med nyckelaktörer i systemet (Rylander et al., 2021).

Tabell 1. Beskrivning av nyckelaktörer.

Aktör	Rollbeskrivning
	<i>Åkeri</i>
a) Förare	Detekterar fel på fordonet. Antingen genom att en varning presenteras i förarpanelen eller att föraren kan detektera felet med hjälp av sina sinnen. När fel uppstår interagerar med föraren med fordonsansvarig och kundmottagare.
b) Fordon	Omborddiagnosen kan aktivera felkoder som i sin tur aktiverar ett alarm i förarpanelen och då notifiera föraren. Larmet är kodat i tre olika färger baserad på allvarlighetsgrad; vit, gul och röd. Fordonet kan också påvisa avvikande beteende om fel uppstår utan att det triggar ett alarm.
c) Fordons-ansvarig	Är ansvarig för fordonsflottan på åkeriet. Om fel uppstår kan föraren kontakta dem för att få råd.
	<i>Verkstad</i>
d) Kund-mottagare	Är länken mellan förarna och verkstadspersonalen. Tar emot samtal och möter kunder och förare på verkstaden. Dom intervjuar förarna kring deras upplevelse av fordonsfelet och interagerar med annan verkstadspersonal gällande fordonsreparationer och underhåll.
e) Jourtekniker	Stöttar förarna vid mer akuta fordonsfel, ofta fordonshaverier, som inträffar längs med vägarna. Kan både utföra reparationer längs med vägen och stötta vid behov av bärgning.
f) Tekniker g) Verkmästare	Dom har sällan kontakt direkt med förarna utan mottar information från kundmottagaren. Ofta gällande förarens beskrivning och upplevelse av ett fel.

h) Diagnostik-verktyg	Verktyget används av verkstadspersonal för felsökning genom att läsa ut felkoder och genomföra olika tester på fordonen.
i) Service management system	Används av kundmottagarna för att göra fjärravläsningar av fordonen och samla in information kring fordonets hälsa. Exempelvis visar verktyget aktiva felkoder, operationell analys, bromsstatus, och underhållsstatus.

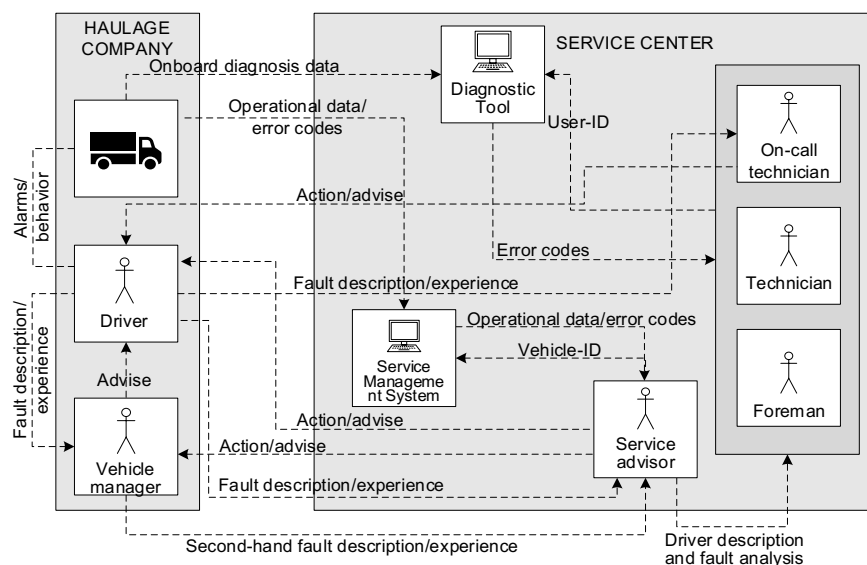
Fem temaområden för tillgänglighet

I studien identifierades fem viktiga temaområden där föraren har en viktig roll: 1) feldetektering, 2) beslutsfattande, 3) informationsutbyte, 4) informationsinhämtning och 5) praktisk kunskap och erfarenhet.

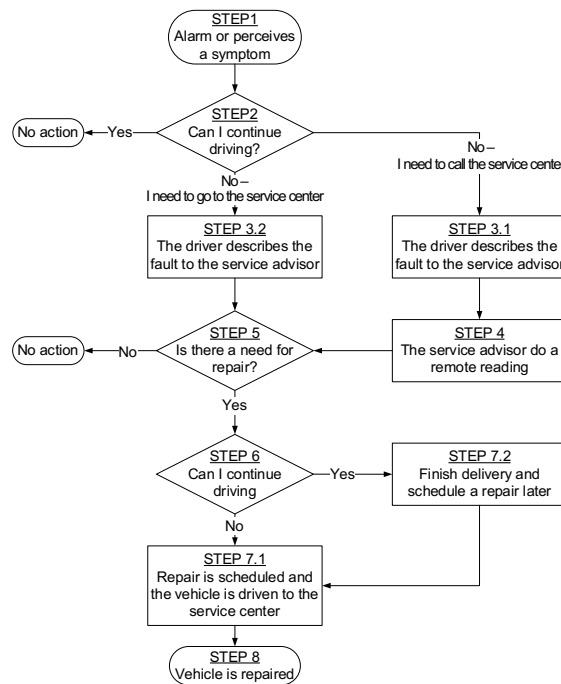
- 1) Feldetektering – Idag detekteras många fel med hjälp av omborrdiagnosen men föraren har en viktig roll att detektera de fel som fordonet själv inte kan detektera. Med hjälp av sina sinnen kan föraren identifiera avvikande beteenden så som röklukt, vibrationer och ljud. Sådana exempel är hjullagerfel och punktering.

Beslutsfattande – Föraren är involverad i flera viktiga beslut och att utföra lämpliga åtgärder när fordonet fordonsfel uppstår. Det kan exempelvis innefatta att besluta om att stanna fordonet eller att köra vidare. Föraren är ofta den som kontakter verkstaden och informerar åkeriet. Ett exempel på beslutsprocess redovisas i

- 2) Figur 3.
- 3) Informationsutbyte – För att hitta en lämplig åtgärd när fordonsfel uppstår under ett pågående leveransuppdrag kan föraren kontakta verkstaden. Kundmottagaren intervjuar då föraren om hur föraren har upplevt fordonets beteende och förarens upplevelse av felet. Därefter kan kundmottagaren ge föraren råd kring lämpliga åtgärder. Exempel på informationsutbyte mellan systemets aktörer ges i Figur 2
- 4) informationsinhämtning – Utöver att intervjua föraren kan kundmottagaren även söka efter information genom att göra en fjärravläsning av fordonet. Det kan visa på fordonets prestanda, så som operationell analys och felkoder. Den kompletterande information kan stötta kundmottagaren vid rådgivning.
- 5) Praktisk kunskap och erfarenhet – En viktig aspekt hos både förare och verkstadspersonal är deras erfarenhet kopplat till fordonsfel och felsökning. Exempelvis har föraren lärt sig hur fordonet beter sig. Flera av kundmottagarna i studien hade tidigare erfarenhet som fordonstekniker och sa att den erfarenheten var till hjälp när de ger råd till förarna.



Figur 2. Informationsflödeskarta (Rylander et al., 2021).



Figur 3. Exempel på beslutsprocess då ett fordonsfel uppstår och föraren är involverad (Rylander et al., 2021).

Utredning och utveckling av felsökningsmetoder för komponenter som används i förarlösa fordon

Scania har utrett och utvecklat felsökningsmetoder för komponenter som är viktiga för det autonoma systemet. Då har man studerat komponenter för att fordonet ska kunna känna av och kunna agera i sin omgivning så som radar, kameror, automatiska bromsar, och elektrisk styrning. Vid underhåll och efter reparationerna kan sensorerna behövas kalibreras för att fordonet ska kunna fungera säkert. Man har funnit behov av och tagit fram bättre metoder för kalibrering av sensorer som kan genomföras med utrustning och personal i en vanlig verkstad. Vid utveckling av metoder för kalibrering av styrsystemet har extra beaktning tagits för att finna metoder för att säkerställa att systemet hela tiden befinner sig i önskvärdt läge så att arbetet går att genomföra på ett säkert sätt. Man har identifierat behov av utökad telematikfunktionalitet för att bättre kunna förbereda felsökningsarbeten på det autonoma systemets komponenter.

Ett annat viktigt resultat från denna analys är att mjukvaruutvecklarna och serviceorganisationen behöver ett tätare samarbete och ett mer agilt arbetssätt eftersom förändringar i mjukvaran har stor påverkan på hur dessa komponenter kan felsökas.

Design

I det här avsnittet presenteras designen av ett system för hantering av fordonshälsa för förarlösa lastbilar. Genom kunskapen kring hur tillgänglighet hos automatiserade och uppkopplade transportsystem kan höjas stöttar TIFF FFIs mål att säkra fordonsindustrins konkurrenskraft i utvecklingen av nya fordon och tjänster. I en effektiv, attraktiv, hållbar, och kostnadseffektiv framtida transportsystem är förarlösa fordon en mycket viktig komponent. Detta projekt bidrar EUTSs mål genom att leverera kunskap kring hur ett sådant transportsystem kan öka punktligheten och sänka kostnaderna genom att öka driftsäkerheten. Genom hög tillgänglighet kan systemet utnyttjas maximalt, och genom att bidra till ökad tillgänglighet bidrar projektet till effektiva transportsystem ur flera perspektiv:

- Fordonstillverkare kan utveckla fordon och tjänster som är effektiva i flera driftfall, även när fel uppstår på fordonen. Där har projektet identifierat fem temaområden som bör beaktas i utvecklingen av transportsystem för förarlösa fordon. Dessa fem temaområden är relevanta

- för att möjliggöra effektivitet och pålitlighet. Projektet presenterar även förslag på aktörer och roller som kan stötta fordonshälsa och på så sätt stötta tillgängligheten i systemet.
- Hög tillgänglighet i transportsystem med förarlösa fordon är kritiskt för att denna nya teknologi ska kunna användas för att utveckla och erbjuda effektiva transportlösningar med rätt kvalitet till lägsta pris. Dock finns fortfarande osäkerheter kring ett framtida transportsystem, så som hur förarlösa fordon kommer att driftas och ägas. Beroende på hur affärsmodellerna kommer designen för tillgänglighet att behöva anpassas. Det här projektet ger ett förslag på hur ett sådant system skulle kunna designas.

I detta projekt studerar vi den nya förarlösa-teknologin och utgår från det faktum att systemen är uppkopplade för att bidra till ökad tillgänglighet och driftsäkerhet. Ett viktigt antagande i projektet är att förarlösa fordon kan stöttas av ett fjärrövervakningscenter eller kontrollrum.

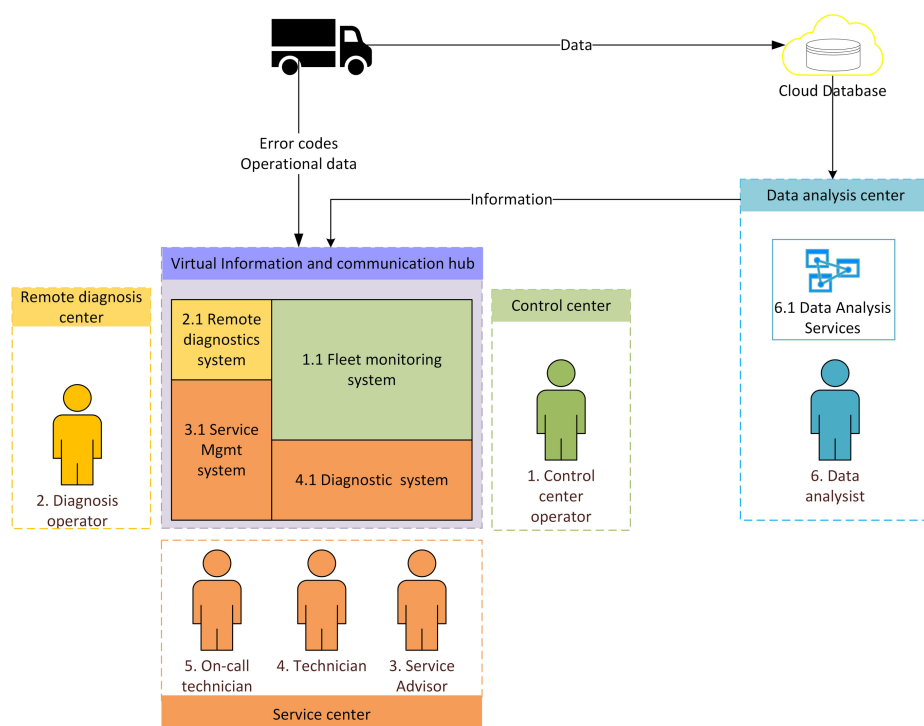
Framtidens transporter

En viktig aspekt i designfasen var att besluta om ett framtida scenario. Monios & Bergqvist (2020) presenterar tre olika framtidsscenarier och det som inspirerade designen i det här projektet är att transport kan komma att säljas som en tjänst. Exemplet som ges är att fordonstillverkare också kommer att sälja transporttjänster där kunden betalar för antalet ton per kilometer för att få sitt gods transporterat. Det kommer att leda till ett skifte i hur ett system för fordonshälsa skapar värde.

Roller och ansvar

Ett förslag är att interaktionen mellan förarlösa fordon och mänskliga aktörer sker genom ett fjärrövervakningscenter och att en operatör i centret skulle kunna ansvara för att hantera fordonshälsan på distans. I projektet identifierades två roller för att hantera ansvaret: kontrollcenteroperatör och fjärrdiagnosoperatör. Kontrollcenteroperatören är den primära beslutsfattaren i systemet och ansvarar för uppdraget, medan fjärrdiagnosoperatören ansvarar för att ge råd om fordonshälsa.

Ett resultat är att inte se fjärrkontrollcentret som en fysisk plats utan snarare en virtuell plats genom vilket systemaktörerna kan interagera, kommunicera och samarbeta. Här kallas det för virtuell informations- och kommunikationshub. Den föreslagna systemdesignen visas i Figur 4 och en beskrivning av systemaktörerna ges i Tabell 2.



Figur 4. Förslag på systemdesign för ett system för hantering av fordonshälsa (Rylander & Englund, n.d.).

Tabell 2. Beskrivning av systemaktörer.

Aktörer	Rollbeskrivning
Kontrollcenter	
1. Kontrollcenteroperatör	Ansvarar för att övervaka en flotta med förarlösa fordon och hantera transportuppdraget. Är den primära beslutsfattaren i systemet.
1.1 Fordonsövervaknings-system	Stöttar kontrollcenteroperatören genom övervakning och hantering av fordonshälsa under transportuppdrag. Är den huvudsakliga interaktionspunkten mellan operatör och fordon.
Fjärrdiagnoscenter	
2. Diagnosoperatör	Stöttar kontrollcenteroperatören med felanalys, felhantering och råd kring hantering av fordonshälsa. Primär rådgivare.
2.1 Fjärrdiagnossystem	Stöttar diagnosoperatören med fordonsanalys och felhantering.
Verkstad	
3. Kundmottagare	Ansvarar för att planering av underhåll och ansvarar för kundrelationen på verkstaden. Primärt i kontakt med kontrollcenteroperatören om underhåll behöver planeras. Kan även stötta i rådgivning.
3.1 Service management system	Verktyg för att kunna planera och hantera underhåll.
4. Tekniker	Reparerar och underhåll fordon.
4.1 Diagnostiksystem	Verktöget används av verkstadspersonal för felsökning genom att läsa ut felkoder och genomföra olika tester på fordonen.
5. Jourtekniker	Stöttar vid akuta fordonsfel, ofta fordonshaverier, som inträffar längs med vägarna. Kan både utföra reparationer längs med vägen och stötta vid behov av bärgning.
Dataanalyscenter	
6. Dataanalytiker	Ta fram relevant information från data.
6.1 Dataanalystjänster	Presenterar och möjliggör dataanalys.

Fem temaområden

I analysfasen identifierades fem olika temaområden som bör beaktas vid utveckling av ett transportsystem med förarlösa fordon. Som en del av designarbetet vidareutvecklades de fem temaområdena baserat på nya resultat i studien. De sammanfattades som nya överväganden vid design av ett system för hantering av fordonshälsa och sammanfattas enligt:

- 1) **Feldetektion och övervakning** – I studien identifierades att föraren agerar som en viktig sensor för fel som inte kan detekteras av fordonet. Därför behöver möjligheten för feldetektion och övervakning utvecklas för att kunna hantera fel som föraren upptäcker idag. Det behövs även för att kunna generera lämplig information till systemaktörerna. Det är troligt att den nya teknologin som möjliggör förarlösa fordon kan orsaka fel som är okända idag. Det behöver också ses över.
- 2) **Beslutsfattande och åtgärder** – Mänskliga aktörer är viktiga för beslutsfattande och föraren fattar ofta viktiga beslut kring vilka åtgärder som ska göras. I systemdesignförslaget föreslås kontrollcenteroperatören ta rollen som primär beslutsfattare. Dock är den mänskliga förmågan att fatta beslut inte perfekt och kan vara både felaktig och inte konsekvent (Massar et al., 2018). För att stötta tillgänglighet föreslås att implementera ett intelligent beslutsstöd som också kan stötta genom att tolka stora datamängder.
- 3) **Informationsutbyte, kommunikation, och analys** – Informationsutbyte är ett viktigt bidrag mellan föraren och verkstadspersonalen. När verkstadspersonalen intervjuar föraren kring deras upplevelse av ett fel byggs kunskap som underlättar analys och felsökning. Den kunskapen är viktig för tillgänglighet då kunskapen gör att fel kan avhjälpas snabbare. Genom att utveckla förarlösa fordon så att de kan dela relevant kunskap till verkstaden kan tillgängligheten stöttas. Ett exempel är att använda digitala verktyg och dataanalys vilka kan behöva nya diagnostik och prognostiskmetoder.
- 4) **Informationsinhämtning och diagnos** – Tidigare erfarenhet ansågs vara en viktig komponent för att kunna tolka förarens upplevelse av ett fel. Det förenklar rådgivning och ger säkrare beslut vilket också kan leda till ökad tillgänglighet då felet kan avhjälpas snabbare. För att stötta informationsinhämtning när föraren inte längre är närvarande behövs utvecklade funktionaliteter hos både system och fordon för att kunna generera lämplig information. Sådana funktionaliteter är exempel trendanalys. Ytterligare ett förslag är att möjliggöra så att det går att fjärrtesta fordonen och samla in information genom fjärranalys.
- 5) **Erfarenhet och lärande** – Erfarenhet och lärande är genomgående viktigt för att kunna hantera de övriga fem temaområdena. Många respondenter beskrev att de har lärt sig sin profession genom att göra och lära sig praktiskt och praktisk kunskap är viktig för att koppla samman fordonsbeteenden med lämpliga åtgärder. Lärande kommer alltså att vara viktigt i det nya systemet där kompetens behöver byggas för att kunna tolka fel för förarlösa fordon. Ett exempel på hur man kan nyttja intelligent beslutsfattning för lärande är att möjliggöra så att modellen kan lära av mänskliga beslutsfattare.

Design av modeller för intelligent beslutsfattning

I analysfasen i projektet identifierades beslutsfattning som en viktig process som behöver överföras från föraren till en annan aktör i systemet. Därför beslutade projektet att utforska möjligheten med automatiserad beslutsfattning i relation till tillgänglighet.

Åkeriernas vinster påverkas av underhållsplanering och det finns nya utmaningar kring kortsiktig underhållsplanering för förarlösa fordon. Här finns möjlighet att utnyttja ny teknologi för att kunna möta de nya utmaningarna. Projektet har implementerat ett hanteringssystem för fordonshälsa med fokus på underhållsplanering för förarlösa fordon under transportuppdrag.

I beslutsprocessen beaktas både förlust i tillgänglighet och underhållskostnader för att utvärdera den ekonomiska risken med ett visst beslut. Ett resultat av arbetet visar på att den intelligenta beslutsmodellen kan minska den förväntade ekonomiska risken för den föreslagna metoden med upp till 47 % (Tao et al., 2022). I arbetet gjordes även känslighetsanalyser av olika modellparametrar. Analyserna visar att den ekonomiska risken minskar när uppskattningsnoggrannheten för återstående nyttjandeperiod, maximalt tillåten leveransfördröjning före annullering av order eller antalet verkstäder ökar. Experimentresultaten

bidrar till att identifiera framtida forsknings- och utvecklingsuppmärksamhet för autonoma lastbilar ur ett ekonomiskt perspektiv.

Utveckling av demonstrator

En demonstrator byggdes i samarbete mellan Scania och KTH där mindre förarlösa bilar tillhörande SVEA-plattformen från KTHs Smart Mobility Lab användes istället för förarlösa lastbilar (se Figur 5). Funktionalitet för övervakning och styrning av dessa fordon placerades både ombord på SVEA-bilarna samt i ett kontrollcentersystem. När fel uppstår skickas information till kontrollcentret som kan se mer information om felet och fatta ett beslut om åtgärd. Beroende på beslutet väljer det autonoma fordonet att söka upp verkstad eller fortsätta med sitt mål. En fördel med att använda SVEA plattformen har varit att den har en kraftfull simuleringsmiljö som gjort det möjligt att simulera flera olika scenarion.



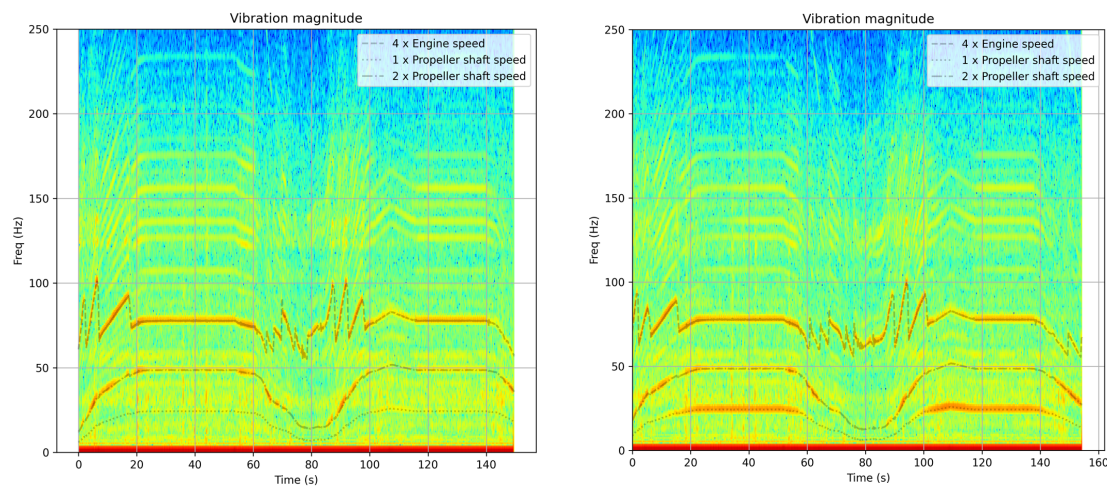
Photo: Erik G Svensson

Figur 5. Förarlöst fordon från SVEA-plattformen. (<https://www.itrl.kth.se/about-us/labs/smart-mobility-lab-1.622774>)

En version av denna demonstrator och lärdomar dragna från användandet har publicerats i två examensarbeten (Branzen, 2021; Englund, 2021). Det har även hållits workshops med representanter för de olika aktörerna där demonstratorn använts.

I projektet har man kommit fram till att det behövs förbättringar av hur man övervakar mekaniska fel i ett autonomt system. De diagnosystem som finns på dagens icke-autonoma fordon gör inte detta i någon större utsträckning. I stället förväntas föraren upptäcka när ett mekaniskt fel uppstår. För att visa hur detta kan göras byggdes en demonstrator kapabel att övervaka vissa mekaniska fel med hjälp av uppkopplade vibrationsgivare utplacerade på chassit. Med hjälp av signalbehandling kan fel såsom sliten drivaxel upptäckas och larmas (se Figur 6). Just detta fel är väldigt illustrativt eftersom om fortsatt drift utan åtgärd kan leda till att drivaxeln går av med katastrofala följder.

Denna demonstrator har visats upp med syftet att påtala behovet av förbättrad övervakning av mekaniska fel och att det kan göras med enkla medel om fler uppkopplade givare monteras på fordonet.



Figur 6. Vibrationsmätning med hel respektive trasig drivaxel. Felet syns tydligt som en förhöjd vibration med samma frekvens som drivaxelns rotation.

7 Spridning och publicering

Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Genom att påvisa förarens roll relaterat till tillgänglighet och fordonshälsa visar projektet på viktiga designaspekter som bör beaktas i utvecklingen av förarlösa fordon. Projektet bidrar även med kunskap kring hur ett system för hantering av fordonshälsa för förarlösa fordon kan designas vilket. Kunskap från projektet har bidragit till nya forskningsprojekt. Bland annat kring behovet av intelligenta beslutsmodeller och dess applikation i ett transportsystem med förarlösa fordon. Den kunskapen kommer bland annat att utforskas vidare inom ramen för Vinnova-projektet RAPIDS - Pålitligt adaptivt prediktivt underhåll och intelligent beslutsstöd. Projekt Systemtransformation för Tillgänglighet för förarlösa fordon är ett fortsättningsprojekt på TIFF och är också ett Vinnova-projekt.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Projektet har visat på flera områden där det finns möjlighet att påverka utvecklingen av förarlösa fordon för att öka tillgängligheten. Ett sådant exempel är att omborrdiagnosen på fordonen behöver utvecklas för att möjliggöra detektering av fel som inte kan upptäckas idag. Fordonen behöver även att kunna ge mer information kring fordonshälsa än vad som är möjligt idag. Projektet har även bidragit till kunskap kring utvecklingen av fjärrövervakning av förarlösa fordon.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Projektet har bidragit med input till produktutvecklingsprojekt inom diagnos och övervakning. Kunskapen som projektet har genererat kan användas både för konventionella fordon där föraren är närvarande, men också till produktutveckling av verktyg för hantering av fordonshälsa för förarlösa fordon.
Introduceras på marknaden		
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/politiska beslut		

Publikationer

Journalartiklar

Tao, X., Mårtensson, J., Warnquist, H., & Pernestål, A. (2022). Short-term maintenance planning of autonomous trucks for minimizing economic risk. *Reliability Engineering & System Safety*, 220, 108251.

Rylander, L., Englund, J. (TBA) A conceptual system design framework illustrating the value of a vehicle health management system for self-driving vehicles. *Unpublished*.

Konferenspublikationer

Rylander, L., Eneberg, M., Mårtensson, J., & Pernestål, A. (2021). Design of diagnosis service system for self-driving vehicles - Learnings from the driver's role today. 2021 Global Reliability and Prognostics and Health Management (PHM-Nanjing), 1–8.

Rylander, L., & Eneberg, M. (2022). Design for change in complex socio-technical systems. In G. Goldschmidt & E. Tarazi (Eds.), 13th Design Thinking Research Symposium (pp. 478–491).

Bokkapitel

Rylander, L., & Eneberg, M. (2022). Design for change in complex socio-technical systems. In G. Goldschmidt & E. Tarazi (Eds.), submission 14th of august 2022.

Examensarbeten

Branzen, E. (2021). Decision-making algorithm for self-driving vehicles Using diagnostics and prognostics for shortterm fault handling [KTH Royal Institute of Technology].

Englund, J. (2021). Remote Interface Design for Fault Handling of Driverless Trucks [KTH Royal Institute of Technology].

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Förarlösa lastbilar kommer att designas med ny teknik som kan bidra till möjligheterna för feldetektion. Dock är transportsystem med förarlösa lastbilar något som ligger i framtiden vilket innebär att det finns osäkerheter kring både tekniska och sociala aspekter. Den här studien har visat på att föraren har en viktig roll idag och förarens roll bör inte bortses ifrån i utvecklingen av förarlösa lastbilar.

Det finns goda möjligheter att använda fjärrövervakning och fjärrhantering för att stötta förarlösa lastbilar. Det kommer dock krävas mänskliga aktörer med kompetens som kan hantera de nya transportsystemen. Dessutom kommer det krävas utveckling av informationsinsamling och informationsutbyte för att kunna tolka och göra avvägningar kring eventuella fel som uppstår. Här finns möjligheter att vidare forska kring lämpliga metoder för diagnostik och prognostisk som kan generera lämplig information.

I projektet har även intelligenta beslutsfattare studerats och visat på att det kan bidra till ökad tillgänglighet genom att kunna analysera stora datamängder och föreslå lämpliga beslut. Ett förslag för framtida forskning är att fortsätta studera hur intelligenta beslutsfattare kan stötta mänskliga aktörer i systemet.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Deltagande parter i projektet och dess respektive kontaktpersoner presenteras i tabellen nedan:

Part		Kontaktperson
	Scania	Lina Rylander Lina.rylander@scania.com
	KTH	Magnus Eneberg meneberg@kth.se

10 Referenser

- Andersson, P., & Ivehammar, P. (2019). Benefits and costs of autonomous trucks and cars. *Journal of Transportation Technologies*, 09(02), 121–145.
- Branzen, E. (2021). *Decision-making algorithm for self-driving vehicles Using diagnostics and prognostics for shortterm fault handling* [KTH Royal Institute of Technology].
- Buchanan, R. (2001). Design Research and the New Learning. *Design Issues*, 17(4), 3–23.
- Eneberg, M. (2012). Enabling design service facilitating inter and intra-organizational sensemaking. *Design Research Society, DRS 2012, Bangkok*.
- Englund, J. (2021). *Remote Interface Design for Fault Handling of Driverless Trucks* [KTH Royal Institute of Technology].
- Gioia, D. A., Corley, K. G., & Hamilton, A. L. (2013). Seeking qualitative rigor in inductive research: notes on the Gioia Methodology. *Organizational Research Methods*, 16(1), 15–31.
- International Transport Forum. (2017). *Managing the Transition to Driverless Freight Transport*. 1–75.
- Kristoffersson, I., & Pernestål Brenden, A. (2018). Scenarios for the development of self-driving vehicles in freight transport. *7th Transport Research Arena TRA 2018*.
- Lanigan, P. E., Kavulya, S., Narasimhan, P., Fuhrman, T. E., & Salman, M. a. (2011). *Diagnosis in automotive systems: A survey*.
- Massar, S. A. A., Csathó, Á., & Van der Linden, D. (2018). Quantifying the motivational effects of cognitive fatigue through effort-based decision making. *Frontiers in Psychology*, 9(May), 1–5.
- Monios, J., & Bergqvist, R. (2020). Logistics and the networked society: A conceptual framework for smart network business models using electric autonomous vehicles (EAVs). *Technological Forecasting and Social Change*, 151.
- Redding, L. (2011). An introduction to Integrated Vehicle Health Management - A perspective from literature. In I. K. Jennions (Ed.), *Integrated Vehicle Health Management* (pp. 17–26). SAE International.
- Rylander, L., Eneberg, M., Martensson, J., & Pernestål, A. (2021). Design of diagnosis service system

for self-driving vehicles - Learnings from the driver's role today. *2021 Global Reliability and Prognostics and Health Management (PHM-Nanjing)*, 1–8.

SAE International. (2018). SAE Standard J3016. In *SAE International* (Issue 724).

Simon, H. A. (2019). *The Sciences of the Artificial* (Reissue of). The MIT Press.

Stickdom, M., Hormess, M., Lawrence, A., & Schneider, J. (2018). *This is Service Design Doing* (M. Treseler, A. Rufino, M. Yarbrough, & J. Kwityn (eds.); First Edit). O'Reilly Media, Inc.

Tao, X., Mårtensson, J., Warnquist, H., & Pernestål, A. (2022). Short-term maintenance planning of autonomous trucks for minimizing economic risk. *Reliability Engineering & System Safety*, 220, 108251.