

GLAD, Godsleverans under den sista milen med självkörande fordon - sammanfattning av GLAD-projektet (Eng. Goods deliveries under the last mile with automated delivery vehicles –a summary)

Mikael Söderman, RISE Research Institutes of Sweden

RISE Report : 2022:135

ISBN 978-91-89757-24-0

GLAD, Godsleverans under den sista milen med självkörande fordon - sammanfattning av GLAD-projektet (Eng. Goods deliveries under the last mile with automated delivery vehicles) – a summary)

Mikael Söderman, RISE Research Institutes of Sweden

Innehåll/Content

| | |
|---|----|
| Förord/Preface..... | 5 |
| 1 Bakgrund / Background..... | 6 |
| 2 Mål, syfte och forskningsfrågor/Objectives..... | 6 |
| 3 Studier/Studies..... | 7 |
| 3.1 Introduktion/Introduction | 7 |
| 3.2 Use cases and high-level requirements for safe interactions between automated delivery vehicles and human operators in a terminal..... | 9 |
| 3.2.1 Sammanfattning (svenska) | 9 |
| 3.2.2 Abstract (English) | 9 |
| 3.2.3 Rapport /Full report..... | 10 |
| 3.3 Typical and critical traffic situations with small electric delivery vehicles – indications for future automated delivery vehicles | 10 |
| 3.3.1 Sammanfattning (svenska) | 10 |
| 3.3.2 Abstract (English) | 10 |
| 3.3.3 Rapport /Full report..... | 11 |
| 3.4 How to convey the intent of an automated vehicle with its longitudinal and lateral movements - evaluating four communication concepts in two traffic situations involving pedestrians (iteration 1) | 11 |
| 3.4.1 Sammanfattning (svenska) | 11 |
| 3.4.2 Abstract (English) | 12 |
| 3.4.3 Rapport /Full report..... | 13 |
| 3.5 Development of self-driving and control room functions and of external HMI for Automated Delivery Vehicles (iteration 2)..... | 14 |
| 3.5.1 Sammanfattning (svenska) | 14 |
| 3.5.2 Abstract (English) | 14 |
| 3.5.3 Rapport /Full report..... | 15 |
| 3.6 People’s understanding of external HMI and their experiences of interacting with an Automated Delivery Vehicle in a terminal context (iteration 3)..... | 16 |
| 3.6.1 Sammanfattning (svenska) | 16 |
| 3.6.2 Abstract (English) | 16 |
| 3.6.3 Rapport /Full report..... | 17 |
| 3.7 What type of vehicle is it? Classification of automated delivery vehicles and potential consequences from legal and policy point of view..... | 18 |
| 3.7.1 Sammanfattning (svenska) | 18 |
| 3.7.2 Abstract (English) | 18 |
| 3.7.3 Rapport /Full report..... | 18 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.8 | Challenges and potential business applications for automated delivery vehicles | 19 |
| 3.8.1 | Sammanfattning (svenska) | 19 |
| 3.8.2 | Abstract (English) | 19 |
| 3.8.3 | Rapport /Full report | 20 |
| 4 | Kunskaps- och resultatspridning/Dissemination | 20 |
| 5 | Projektparter och kontaktpersoner/Partners and contact | 21 |

Förord/Preface

Detta är en sammanfattning av studierna som gjordes i GLAD-projektet (GLAD: *Goods deliveries under the last mile with automated delivery vehicles*). GLAD var ett forsknings- och utvecklingsprojekt som hade det övergripande syftet att generera ökad kunskap om användares behov, samt om de tekniska, affärsmässiga och policyrelaterade utmaningar som automatiska leveransfordon (eng. *Automated delivery vehicles*, ADV) kan innebära.

GLAD-projektet genomfördes under juni 2020 och september 2022 och koordinerades av RISE Research Institutes of Sweden. Projektet delfinansierades av Trafikverket (ref. no. TRV 2020/26017). Parterna i GLAD-projektet var RISE Research Institutes of Sweden, Aptiv AB, Combitech AB, Clean Motion AB och Högskolan i Halmstad.

.....

This is a summary of the studies that were carried out in the GLAD project (GLAD: *Goods deliveries under the last mile with automated delivery vehicles*). GLAD was a research and development project with the overall aim to gain knowledge about user needs as well as about the technical, business and policy related challenges with automated delivery vehicles (ADV).

The GLAD project was conducted during June 2020 and September 2022 and was coordinated by RISE Research Institutes of Sweden. The project was partly financed by the Swedish Transport Administration (ref. no. TRV 2020/26017). The partners in the GLAD project were RISE Research Institutes of Sweden, Aptiv AB, Combitech AB, Clean Motion AB and Halmstad university.



1 Bakgrund / Background

Efterfrågan på leveranser av varor förväntas öka kraftigt, vilket kommer att ställa både stora och nya krav på våra transportsystem. Elektrifiering och automation av fordon är två områden som kan möta framtidens krav på transporter. Eldrivna automatiska leveransfordon (eng. Automated Delivery Vehicles, ADV) skulle kunna bidra till att förändra godstransporterna under de sista kilometrarna ("the last mile"/"den sista milen"), som oftast är de mest energikritiska delarna i transportkedjan, genom ökad transport- och energieffektivitet, men även kunna ge bättre tillgänglighet för transporter. För att uppnå detta måste ADV:er bli integrerade i befintliga transportsystem, samt kunna samverka med människor (fotgängare, cyklister, förare av andra fordon m.fl.) och accepteras i samhället i stort.

.....

The demand for deliveries of goods is expected to increase sharply, which will place new demands on our transport systems. Electrification and automation of vehicles are two areas that can meet future demands on transports. Automated Delivery Vehicles (ADV) could contribute to transform the last mile transport, which is often the most energy-critical part in the transport chain, through increased transport and energy efficiency, as well as better accessibility. To achieve this, ADVs need be integrated into the existing transport system, as well as to interact with people (pedestrians, cyclists, drivers of other vehicles, etc.) and to be accepted in society at large.

2 Mål, syfte och forskningsfrågor/Objectives

Det övergripande målet med GLAD-projektet var att ta fram en kunskapsbas om behov, utmaningar och förutsättningar för ADV:er i Sverige utifrån ett socio-tekniskt perspektiv, och som kan bidra till effektiva godsleveranser, samt målen i Agenda 2030.

För att transporter med ADV:er ska kunna realiseras och bli en del i ett transportsystem finns det flera utmaningar som måste hanteras, t.ex. tekniska, legala, logistiska och inte minst hur ADV:er och människor ska samverka i olika situationer och miljöer. De övergripande frågeställningarna i projektet var:

- Inom vilka områden kan ADV:er användas och vilka kan ha störst potential?
 - Vilka utmaningar måste hanteras för att implementera effektiva och säkra leveranser med ADV:er under "den sista milen"?
 - Vad kännetecknar interaktioner mellan ADV:er och trafikanter, samt med operatörer i terminalmiljö?
 - Vilka metoder är lämpliga för att utvärdera människa-ADV interaktioner?
 - Hur kan ADV:er klassificeras som fordon och vilka legala konsekvenser kan följa?
-

The overall goal of the GLAD project was to develop a knowledge base on needs, challenges and conditions for ADVs in Sweden from a socio-technical perspective, to contribute to efficient goods deliveries and to the goals of Agenda 2030.

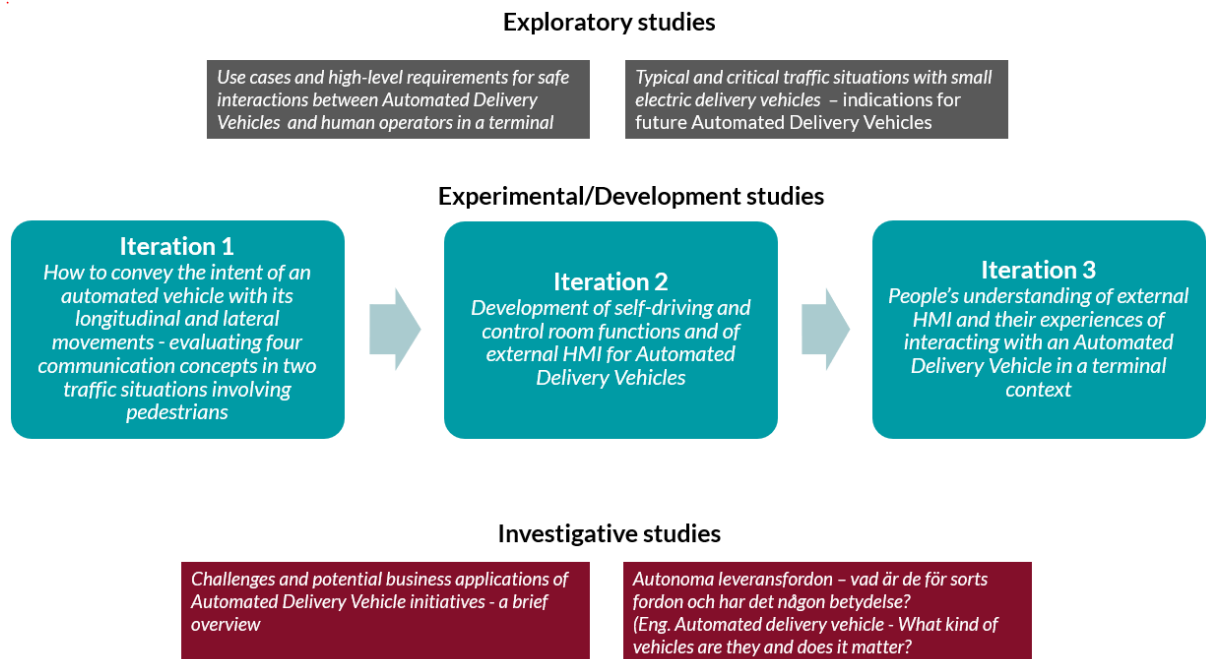
There are several challenges that need to be addressed for ADVs as part of a transport system, e.g. technical, legal, logistical challenges, and not least how ADVs and people should interact safely in different situations and environments. The overall research questions in the project were:

- In which areas could ADVs be used, and which can have the greatest potential?
- What challenges need to be addressed to implement efficient and safe deliveries with ADVs in the "last mile"?
- What characterizes the interactions between ADVs and road users, as well as operators in goods terminals?
- What methods are appropriate for evaluating human-ADV interactions?
- How can ADVs be classified as vehicles and what legal consequences may follow?

3 Studier/Studies

3.1 Introduktion/Introduction

I GLAD-projektet har flera studier genomförts med olika inriktningar och fokus. De kan delas in i explorativa, experimentella/utvecklande, samt undersökande studier (Figur 1). De explorativa studierna har undersökt olika förutsättningar och kravbilder för ADV:er och bidragit till kunskaper som har använts i de experimentella studierna (Söderman, Andersson and Habibovic, 2022; Söderman, 2022). De undersökande studierna har tittat på nulägen och förutsättningar för kommersiella applikationer av ADV:er (Gonzales et al. 2022), samt hur ADV:er kan definieras enligt olika regelverk (Andersson, K, 2022). De experimentella studierna var av en serie av tre studier (Figure 1). Studien i Iteration 1 (Andersson & Habibovic, 202x) utvärderade hur gångtrafikanter upplevde och tolkade en ADV:s körbeteende, samt hur de agerade i olika situationer i en stadsmiljö. Studien i Iteration 2 (Söderman et al. 2022, a) fokuserade på att utveckla självkörande funktioner och kontrolrumsfunktioner som kontrollerade ADV:n under en given rutt. I iteration 2 utvecklades även ett koncept för extern kommunikation (eng. external HMI, eHMI), d.v.s. ljussignaler på ADV:n som kommunicerar ADV:ns status, körbeteende och intentioner till omgivningen. Studien i Iteration 3 (Söderman et al., 2022 b) utvärderade eHMI-konceptet med användare i en tänkt terminalmiljö.



Figur 1, Översikt av studierna i GLAD-projektet/Overview of the studies in the project. Sammanfattningar på svenska och på engelska av studierna står i kapitel 3.2 – 3.8.

Several studies have been conducted in the GLAD project. They can be divided into exploratory, experimental/development, as well as investigative studies (Figure 1). The exploratory studies investigated different conditions and requirements for ADVs. These studies have contributed to knowledge that was used in the experimental studies (Söderman, Andersson and Habibovic, 2022; Söderman, 2022). The investigative studies looked at the current states and the conditions for commercial applications of ADVs (Gonzales et al. 2022) and how ADVs can be defined according to different regulations (Andersson, K, 2022). The experimental studies were parts of a series of three iterations. The study in iteration 1 evaluated how pedestrians perceived and interpreted an ADV's driving behavior, as well as how they acted in different situations in an urban environment. The study in Iteration 2 focused on developing self-driving and control functions that controlled the ADV during a given route. A concept for external HMI (eHMI) was also developed, i.e. light signals on the ADV that communicate the ADV's status, driving behavior and intentions to the surroundings. The study in iteration 3, evaluated the eHMI concept with users in an intended terminal environment.

Summaries in Swedish and in English of the studies are in chapters 3.2 – 3.8.

3.2 Use cases and high-level requirements for safe interactions between automated delivery vehicles and human operators in a terminal

3.2.1 Sammanfattning (svenska)

Små elektriska autonoma leveransfordon (ADV) kan spela en viktig roll i framtida leveranskedjor, i synnerhet under den s.k. sista milen. I terminaler där ADV omlastas är det viktigt interaktioner mellan ADV:erna och personalen på terminalerna är säkra. Två workshops genomfördes med utvecklare av självkörande fordon, forskare inom människa-maskininteraktion, samt personal från godsterminaler för att identifiera utmaningar, behov och krav kring utformningen av ADV:er, men även på utformningen av terminaler där ADV:er kan köra. På grund av COVID19 genomfördes workshopparna online och en video visades för deltagarna som demonstrerade en ADV som kör in på en terminal för omlastning av gods. Målen för workshopparna var att (i) få förståelse för interaktionerna mellan ADV:er och personal i terminalen och (ii) att identifiera funktionskrav på både ADV:er och terminal för säkra och effektiva interaktioner mellan personal och ADV:er i terminaler.

Studien fokuserade dels på ADV från att den anländer till terminalen, omlastas och lämnar terminalen, dels på situationer där personal interagerar med ADV vid lastning/lossning av gods. Utifrån varje situation formulerades ett eller flera funktionskrav på ADV och/eller terminalen. Personal på terminaler kommer att fylla viktiga uppgifter i leveranskedjorna med ADV:er, såsom lastning och lossning av gods och att hantera problem som ADV inte kan lösa själv. Därför blir interaktionen mellan godspersonal och ADV:er viktig för både säkerheten och effektiviteten i godshanteringen.

3.2.2 Abstract (English)

Small electric Autonomous Delivery Vehicles (ADV) can play an important role in future logistic chains under the last mile deliveries. In terminals where ADV are loaded with goods it is important that the interactions between the ADV and the goods handling personnel is safe. Two workshops with developers of self-driving vehicles, researchers in the area of human-machine interaction and goods handling personnel were conducted to identify challenges, needs and requirements regarding the design of ADV and the terminals for ADV. Due to COVID19, the workshops were carried out online and a video was shown to the participants demonstrating an ADV operating in a location representing a terminal. The two main objectives for this study were to gain understanding of the interactions between the ADV and human operators in the terminal and to identify high-level functional requirements for safe and efficient deployment of ADVs in terminals.

The identified use cases related to (i) the ADV's operations in the terminal, from entering to leaving the terminal and (ii) use cases where human operators interacted with the ADV, e.g. for loading/unloading goods. For each use case a high-level functional requirement was formulated. Human operators will most likely have important roles in the delivery chains with ADV, such as loading and unloading of goods, as well as managing matters the ADV cannot handle. Consequently, how to design the human - ADV interactions will be critical from safety and efficiency points of view.

3.2.3 Rapport /Full report

Söderman, M., Andersson, J., Habibovic, A., (2022), *Use cases and high-level requirements for safe interactions between Automated Delivery Vehicles and human operators in a terminal*, ISBN 978-91-89757-20-2, RISE report 2022:131

3.3 Typical and critical traffic situations with small electric delivery vehicles – indications for future automated delivery vehicles

3.3.1 Sammanfattning (svenska)

I denna studie undersöktes vilka trafiksituationer som förare av små leveransfordon (eng. Manual delivery vehicles, MDV) råkar ut för och hur de hanterar dessa, ibland kritiska, trafiksituationer i sitt dagliga arbete. Syftet var att få en bild av vilka situationer som framtida självkörande leveransfordon (eng. Automated delivery vehicle, ADV) kan komma att råka ut (om de kommer köra i liknande miljöer).

Nio förare intervjuades om sina arbetsuppgifter, erfarenheter av typiska och kritiska situationer och hur de hanterar dessa situationer. Intervjuerna visade att många potentiellt kritiska situationer orsakades av fordonets låga hastighet (max 45 km/h) jämfört med andra fordons hastigheter, t.ex. bilar körde ofta mycket nära bakom dem och inte sällan förekom riskfyllda och vårdslösa omkörningar på smala och trafikerade platser. Intervjuerna visade också att förarna ofta måste ta bort hinder för att komma fram och hitta alternativa vägar för att nå fram till sina destinationer. Eftersom en ADV inte kan lösa dessa typer av problem som förare gör idag innebär det att den miljö (eng. Operational Design Domain, ODD) som ADV:er är tänkta att köra i behöver vara anpassad till ADV:erna.

Brev och paket som körs ut till adressaterna levereras den sista biten av förarna. Med ADV:er måste detta antingen tas om hand av någon person hos adressaterna eller ersättas av ett annat leveranssystem som inte innebär att en person tar breven och paketen den allra sista biten till adressaterna.

Förarnas erfarenheter har stor betydelse för att köra säkert och effektivt och de måste ofta lösa problem allteftersom de uppstår, t.ex. genom kompensering av körbeteende, t.ex. position i körfält, acceleration/retardation, styrmanövrar etc. Förarna nämnde även att vissa trafikregler är vagt formulerade ("*... anpassa hastigheten så att det inte uppstår fara...*", "*... anpassa hastigheten till cykeltrafiken...*", "*... att i god tid...*") vilket innebär att de måste tolka innebörden och agera därefter beroende på rådande trafiksituation. Hur en framtida ADV ska förhålla sig till denna typ av generella trafikregler kan bli en utmaning.

Sammantaget visade intervjuerna att förarna hanterar komplexa trafiksituationer utifrån sina kunskaper och erfarenheter, samt att de, förutom att köra fordonet, måste hantera en mängd praktiska saker för att leverera brev och paket ända fram till adressaten. Om och hur ADV:er ska ersätta förare behöver genomlysas av en systemsyn på hela transportkedjan.

3.3.2 Abstract (English)

This study investigated what typical traffic situations drivers of small manual delivery vehicles (MDV) are facing during their daily routes and how they handle these, sometimes critical, traffic situations. The purpose was to get an understanding of what challenges future automated delivery vehicles (ADV) may encounter and need to manage. Nine drivers of

MDVs were interviewed about their daily working tasks, their experiences of typical and critical situations and how they handle these situations.

The interviews showed that many potentially critical situations were related to the MDV's relative slow speed (max 45 km/h). They could not always keep the same speed as other vehicles, which resulted in other vehicles driving closely behind the MDV and overtaking the MDV in narrow and heavily trafficked places.

The interviews also revealed that the drivers often need to remove obstacles along their routes, and sometimes find alternative routes in order to reach their destinations. Since an ADV cannot solve these kinds of problems like human drivers do the ADVs' Operational Design Domain (ODD) may need to be adapted to the ADV's capacity, e.g. being free of obstacles.

The letters/packages are delivered to the addressees by the drivers. With ADVs, these "hand-over" operations need to be either taken care of by someone at the addressees or be replaced by a delivery system that does not involve the hand-over to the addressees.

Another matter is that some general traffic rules are often vaguely formulated ("*... adapt the speed to the bicycles...*", "*...adjust the speed so there is no danger...*", "*...to... in time...*") and leave much to the driver to interpret their meanings and to act accordingly. How ADVs should comply with this kind of traffic rules could be a challenge.

The drivers' gained experiences seemed to be key to handle unforeseen events and to solve problems as they occur, for example through compensating behaviour, such as position in lane, acceleration/deceleration, steering maneuvers etc. Overall, the interviews showed that the drivers are handling complex traffic situations and environments and that they need to manage many practical tasks to deliver the letters and packages to the addressees. If and how ADVs should replace the drivers would need a systems perspective throughout the whole logistics chain.

3.3.3 Rapport /Full report

Söderman, M. (2022), *Typical and critical traffic situations with small electric delivery vehicles – indications for future automated delivery vehicles*, ISBN 978-91-89757-19-6, RISE report 2022:130

3.4 How to convey the intent of an automated vehicle with its longitudinal and lateral movements - evaluating four communication concepts in two traffic situations involving pedestrians (iteration 1)

3.4.1 Sammanfattning (svenska)

Denna studie undersökte ett automatiserat fordons körbeteende som medel för att kommunicera sin avsikt (att stanna eller inte stanna) i möte med fotgängare. Forskningsfrågorna var:

- Hur uppfattar fotgängare ett självkörande fordon's longitudinella (acceleration och inbromsning) och laterala rörelsebeteende jämfört med endast fordonets longitudinella rörelsebeteende och hur tar de beslut att korsa en gata baserat på dessa fordon's rörelser?
- Kan det självkörande fordonets körbeteende (hastighet, longitudinella och laterala rörelser) ge motstridiga budskap till fotgängare om samma körbeteende används i olika situationer?

Baserat på en litteraturöversikt utformades två koncept för ett självkörande fordon's körbeteende som medel för att förmedla att fordonet lämnar företräde för fotgängare, samt två koncept som förmedlar att fordonet inte lämnar företräde för fotgängaren. Skillnaden mellan koncepten som förmedlade att fordonet lämnade företräde låg i fordonets laterala rörelse; I det ena konceptet styrde fordonet *mot* fotgängaren för att indikera att det tänkte lämna företräde medan i det andra konceptet körde fordonet centrerat i körfältet. I båda koncepten bromsade dock fordonet in på samma sätt. Även i koncepten då fordonet inte lämnade företräde var skillnaden fordonets laterala rörelser; i det ena konceptet styrde fordonet *från* fotgängaren för att indikera sin avsikt att inte lämna företräde, medan i det konceptet körde fordonet centrerat i körfältet.

Studien genomfördes på en testbana med 12 deltagare som rekryterades via sociala medier. Fordonet kördes manuellt, men vindruta och fönster var tonade så att deltagarna inte kunde se föraren – en s.k. en "Wizard of Oz"-strategi – och på så sätt gav intrycket av att det var ett självkörande fordon. Varje deltagare fick vara med om samtliga koncept för fordonets körbeteenden vid två olika situationer: (i) att korsa en väg, och (ii) att möta fordonet vid ett vägarbete (inomgruppsdesign). I båda situationerna körde fordonet i två fordonshastigheter, 15 km/h och 28 km/h, vid två tillfällen för varje deltagare. Ordningen på hastigheterna randomiserades. Både subjektiva och objektiva data samlades in. Med videoinspelningar mättes hur lång tid det tog för deltagarna att tolka fordonets beteende och avsikt lämna företräde eller ej, samt hur lång tid det tog för deltagarna att ta beslut att korsa vägen eller ej. Deltagarna fick bedöma på en 5-gradig Likert-skala hur tydligt de tyckte att fordonet förmedlade sin avsikt. I slutet intervjuades varje deltagare om deras erfarenheter från studien och om deras uppfattningar om fordonets körbeteenden.

Resultaten visade att för vissa deltagare, men inte alla, var en kombination av laterala och longitudinella fordon's rörelser tydligare att förmedla fordonets avsikter att lämna företräde/inte lämna företräde, jämfört med enbart longitudinella fordon's rörelser. Resultaten visade även att laterala rörelser kunde tolkas olika och att deltagarna upplevde osäkerhet om fordonets avsikter och beteende. Flera deltagare nämnde att visuella och/eller audiella signaler i kombination med fordonets rörelser skulle kunna bidra till att tydligare kommunicera om fordonets beteende.

3.4.2 Abstract (English)

In this study an automated vehicle's driving behavior was studied as a way to communicate its intention regarding right of way in an encounter with a pedestrian. The research questions were:

- How do pedestrians perceive and make decisions based on the vehicle's longitudinal and lateral movements as compared to longitudinal movement only, and how do the pedestrian decide to cross the road – or not cross the street – based on the vehicle's behaviour?

- Can the automated vehicle's driving behavior (speed, longitudinal and lateral movements) induce conflicting messages if the same driving behavior is used in different situations?

Based on a literature review two driving behavior concepts were designed to convey that the automated vehicle is yielding, and two driving behaviors to convey that the automated vehicle is not yielding to pedestrians. The difference between the two concepts was the vehicle's lateral movements; in one of the yielding concepts, the vehicle deviated *towards* the pedestrian to indicate its intention to give way, while in the other yielding concept, the vehicle was driving centered in the lane. In both yielding concepts, however, the vehicle decelerated in the same way. Similarly, the difference between the non-yielding concepts was in the lateral movements; in one of the non-yielding concepts the vehicle deviated *away* from the pedestrian to indicate its intention not to give way, while in the other non-yielding concept the vehicle was driving centered in the lane.

The study was carried out on a test track with 12 participants utilizing a seemingly automated small delivery vehicle (i.e., a Wizard of Oz approach where the vehicle was operated by a human driver. The windshield and windows were tinted to avert the participants seeing the driver). The participants were recruited from the public through social media. A within-subjects design was applied where each participant firstly experienced all driving behavior concepts in a road crossing situation, and then the two yielding concepts in a roadworks situation. Both the yielding and the non-yielding concepts were evaluated in two vehicle speeds, 15 km/h and 28 km/h. The order of the speeds was randomized, and each speed was experienced twice. Both subjective and objective data were collected. From video recordings, it was measured how long it took for the pedestrian to interpret the intent of the approaching vehicle to give or not to give way and how long it took for the pedestrian to decide to cross or not to cross the road. After each encounter, the pedestrians were asked to assess on a 5-point Likert scale how clearly the vehicle conveyed its intent. At the end of the study, a semi-structured interview was conducted with focus on general experience and perception of different driving behaviors.

The results showed that using a combination of lateral and longitudinal movements instead of longitudinal movements only to communicate the vehicle's intent to give way, or not to give way, were beneficial for some pedestrians, but not for all. The study also indicated that lateral movements were interpreted differently in the crossing and roadworks situations and could as such induce confusion and a feeling of unsafe vehicle behavior. Several participants mentioned also that a visual or audio signal on the vehicle showing its intent would have been helpful in the given traffic situations. Therefore, other means of communication, visual and/or audio, should be combined with the vehicle's movements.

3.4.3 Rapport /Full report

This report is currently (November 2022) under construction for submission.

Andersson, J., Habibovic, A., *How to convey the intent of an automated vehicle with its longitudinal and lateral movements - evaluating four communication concepts in two traffic situations involving pedestrians* (Report under construction, 202x)

3.5 Development of self-driving and control room functions and of external HMI for Automated Delivery Vehicles (iteration 2)

3.5.1 Sammanfattning (svenska)

Resultaten från en tidigare studie, Iteration 1 (Andersson and Habibovic, 202x) indikerade att utöver fordonets hastighet och position i körfältet kan det behövas fler sätt att kommunicera fordonets körbeteende och avsikter, till exempel olika former av externt Human Machine Interface (eHMI), d.v.s. visuella signaler (lampor) som visar fordonets status, beteende och intentioner, för att andra trafikanter ska förstå dem, framför allt i låga hastigheter, till exempel i stadsmiljöer. I iteration 1 hade fordonet inte heller självkörande funktioner.

Studien i denna rapport fokuserade på att utveckla och implementera självkörande funktioner för mindre leveransfordon (eng. Automated delivery vehicle, ADV), samt kontrollrumsfunktioner. I studien utvecklades även ett eHMI koncept för att kommunicera till omgivningen om fordonets tillstånd, avsikter och beteende. Flera eHMI-koncept har utvecklats inom industri och forskning, men det finns inga standarder för eHMI. Det finns dock olika riktlinjer och rekommendationer från studier om eHMI, t.ex. att eHMI ska rikta sig till omgivningen i allmänhet och inte till specifika individer, och att eHMI inte ska instruera vad andra ska göra. eHMI-konceptet i denna studie omfattade följande budskap: Automatiseringsläge, Acceleration, Deceleration och Leveransläge. En modell för en eHMI-strategi föreslås också.

Den tekniska utvecklingen omfattande bl.a. programvarustacken och de automatiserade körfunktionerna, inklusive sidokontrollen, samt *Representational State Transfer* (REST) för kommunikation med eHMI-signalerna och med fordonssignalerna. De flesta av de enskilda delarna av kedjan från ett kommando till ADV:n skapades via ett gränssnitt i det autonoma transporthanteringssystemet (eng. *Autonomous Traffic Management System*, ATMS). Hela kedjan var dock svår att uppnå, och vikten av frekvent testning och integration blev tydlig. Fel i kedjan kunde bl.a. resultera i omfattande procedurer för att starta om systemet. Studien visade också att stabilitetsproblemen i systemet vilka påverkade repeterbarheten negativt.

eHMI-konceptet bestod av LED-lampor på ADV:n med flera färgalternativ, en ECU med CAN-hårdvara, samt en programvara som styrde lamporna. I början användes fordonens data från CAN-bussen (hastighet och styrvinkel) som aktiverade de olika eHMI-signalerna. Kontrollalgoritmen fungerade tekniskt, men studien visade att eHMI för acceleration och deceleration aktiverades/inaktiverades inom 1-2 sekunder, vilket bedömdes vara för kort tid för att kunna uppfatta och förstå innebörden av dessa eHMI. En slutsats var att aktivering/inaktivering av eHMI i stället bör utföras av samma dator som hanterar de autonoma körfunktionerna.

3.5.2 Abstract (English)

The results of the study in iteration 1 (Andersson and Habibovic, 202x) indicated that additional means to the vehicle's speed and position in lanes may be needed for other road users to understand its driving behavior and intentions, such as various forms of external Human Machine Interface (eHMI), i.e. visual signals (lights) showing the vehicle's status, behavior and intentions, especially in low speeds, for example, in urban environments. The vehicle in the study had no self-driving capabilities. Therefore, this study focused on the

technical development and implementation of self-driving functions and control room functions in an automated delivery vehicle (ADV), as well as to develop a eHMI concept for communicating the vehicle's states, intentions and behaviour to the surroundings.

The software stack and the development of the main features of the automated driving capabilities including the lateral controller are described in this report. Further, modules such as the *Representational State Transfer* (REST) for communication, the remote control of the ADV and of the eHMI communication interface with the vehicle signals are presented. The study also underlines the need for further refinement in repeatability of the initial conditions of the system.

Most of the parts of the chain from a command to the ADV were created via the User interface in the *Autonomous Transport Management System* (ATMS). However, the whole chain was hard to achieve, and the importance of frequent testing and integration became clear. Faults in the chain could result in extensive procedures to restart the integration test. The study also revealed stability issues in the system, which affected the repeatability negatively.

Several eHMI concepts have been developed in industry and in research. However, up to this date there are no standards or regulations for the design of eHMI. Nevertheless, several guidelines and recommendations have been proposed in different studies, for example that the eHMI should be consistent with existing eHMI, address road users in general and not tell or instruct other road users what to do. The eHMI-concept developed in this study conveyed the following messages: Automation mode, Acceleration, Deceleration and Delivery mode. A model for an eHMI-strategy is also proposed.

The eHMI prototype was composed of LED lights with multiple color options, an ECU with CAN hardware and software that controlled the eHMI. The initial idea was to use vehicle data from the CAN bus, such as speed and steering angle, to control the eHMI. The control algorithm worked technically, but the eHMI for acceleration and deceleration were activated/inactivated within 1-2 seconds, which was considered as too short a time for an observer to perceive and grasp the meaning of these eHMI. Therefore, it was concluded that the activation/inactivation of the eHMI should instead be executed by the computer that manages the autonomous driving functions in the ADV.

3.5.3 Rapport /Full report

Söderman, M., Clasen, R., Bergström, G., Collings, W., (2022) *Development of self-driving and control room functions and of external HMI for Automated Delivery Vehicles*, ISBN 978-91-89757-21-9, RISE report 2022:132

3.6 People's understanding of external HMI and their experiences of interacting with an Automated Delivery Vehicle in a terminal context (iteration 3)

3.6.1 Sammanfattning (svenska)

Denna studie utgick från ett terminalscenariot för godshantering där ett självkörande leveransfordon (eng. Automated delivery vehicle, ADV) anländer för omlastning. Syftena med studien var att; i) testa och validera de självkörande funktionerna, ii) testa och validera kontrollrummets funktioner och iii) utvärdera deltagarnas förståelse av eHMI, d.v.s. visuella signalerna på ADV:n som kommunicerade dess status, körbeteende och intentioner, och (iv) utvärdera deltagarnas upplevelser av att interagera med ADV:n i två situationer: att ta bort ett föremål framför ADV:n och att last/lossa gods från ADV:n.

Deltagarna fick agera nyanställda på en terminal för lastning/lossning av gods och där de skulle hantera två situationer: (i) att plocka bort ett föremål framför en ADV som hindrade den att köra vidare och (ii) att lasta / lossa gods från en ADV. Deltagarna markerade på en 5-gradig skala hur lätt/svårt det var att förstå de olika eHMI (eHMI kommunicerade Acceleration från stillastående, Inbromsning till stillastående, Oplanerat stopp och Leveransläge) och hur säkert/osäkert det kändes att dels plocka hindret framför ADV:n, dels att last/lossa från ADV:n. Varje deltagare upprepade resp. situation tre gånger.

Resultaten visade att det var lätt att förstå de olika eHMI, speciellt den typ av eHMI som finns på fordon idag, t.ex. varningsblinkers och blinkers. Studien visade även att kontexten, d.v.s. terminalscenariot, situationerna och arbetsuppgifterna, var viktig för deltagarna att förstå innebörden av eHMI. Deltagarnas tidigare erfarenheter (samtliga hade körkort), samt den erfarenhet och kunskap de fick under studien bidrog till att de kunde förstå de olika eHMI. I situationerna där de dels skulle ta bort ett hinder framför ADV:s, dels gå fram och last i/ur gods på ADV: upplevdes som säkra. Deltagarna antog att dessa situationer kunde förekomma ofta på en terminal med ADV:er och att det därför att det var säkert att gå fram till och framför ADV:n. Storleken på ADV:n (mindre än en bil) angavs också en bidragande faktor till att de tyckte det kändes säkert.

De självkörande funktionerna i ADV:n och rutten var integrerad i ADV:ns systemarkitektur. En utmaning var att få stabilitet i systemet med upprepade körcykler. Det autonoma transporthanteringssystemet (eng. *Autonomous Transport Management System, ATMS*) placerades därför i en molntjänst för att kunna fjärrtestas och för att kunna upprepa integrationstesterna och testcyklerna. Informationen i meddelandena som skickades till ADV:n från kontrollrummet inkluderade till exempel koordinaterna för rutten och styrsignalerna för eHMI. Även en funktion för att återställa systemet vid felmeddelanden implementerades. Styrningen av LED-lamporna i eHMI hanterades av fordonets styrenhet (eng. *Vehicle Control Unit, VCU*), vilket gav en noggrannare beräkning av utgångssignalerna till eHMI jämfört med att använda fordonsdata (se kap 3.5).

3.6.2 Abstract (English)

This study investigated how the participants in a scenario of a terminal for goods handling perceived an incoming automated delivery vehicle (ADV) for loading/unloading and how they understood the external Human Machine Interfaces (eHMI), i.e., visual signals on the

ADV that communicate the ADV's behaviour, mode and intentions. The objectives were (i) to test and validate the self-driving functions; (ii) to test and validate the control room functionalities and (iii) to evaluate how the participants understood the eHMI and (iv) to evaluate how they experienced to interact with the ADV in specific situations. The eHMI communicated four messages; Acceleration (from stand still), Deceleration (to stand still), Unplanned stop and Delivery mode.

The participants were introduced to the scenario and instructed to act the role of being newly employed at a terminal for loading/unloading goods. There were two situations they were asked to handle: (i) the ADV had stopped (unplanned) due to an obstacle in front which had to be removed for the ADV to drive on, and (ii) to load/unload the ADV when it had stopped at a designated place for loading/unloading. The participants marked on a 5-point scale how easy/difficult it was to understand the different eHMI (eHMI communicated Acceleration from standstill, Deceleration to standstill, Unplanned stop and Load/Unload mode) and how safe/unsafe they felt to approach and interact with the ADV. The same procedures were repeated three times.

The results showed that the participants thought it was easy to understand the different eHMI on the ADV, specifically the type of eHMI that are on vehicles today, such as hazard lights and turning indicators. The results also revealed that the context, i.e. terminal scenario, the situation, and the work tasks, was a contributing factor to their understanding of the eHMI. The participants' previous and gained experiences also contributed to their understanding of the eHMI. The participants thought it was safe to approach the ADV, for example to remove the obstacle in front of the ADV, much because they assumed that such close interactions with the ADVs could happen often and, therefore, they took for granted it was safe to interact closely to the ADV. The size of the ADV (smaller than a regular car) was also mentioned as a contributing factor.

The self-driving functions in the ADV were integrated in the ADV's system architecture. A challenge was to obtain stability in the system with repeated driving cycles. The *Autonomous Transport Management System* (ATMS) was put in a cloud service to enable remote testing, and to facilitate repeated integration tests as well as test-cycles with the ADV. The information in the messages sent to the ADV included, for example, the coordinates for the route and the control signals for the eHMI. In addition, a function was implemented to reset the ATMS easily when it entered a faulty state. The control of the LED lights for the eHMI was managed by the main *Vehicle Control Unit* (VCU) which provided more accurate output from the eHMI compared to using the vehicle data (see section 3.5).

3.6.3 Rapport /Full report

Söderman, M., Clasen, R., Bergström, G., Collings, W., (2022) *People's understanding of external HMI and their experiences of interacting with an Automated Delivery Vehicle in a terminal context*, ISBN 978-91-89757-22-6, RISE report 2022:133

3.7 What type of vehicle is it? Classification of automated delivery vehicles and potential consequences from legal and policy point of view

3.7.1 Sammanfattning (svenska)

Syftet med studien var att identifiera hinder och möjligheter för att implementera ADV i Sverige ur ett regulatoriskt perspektiv. Regler som kan påverka utvecklingen av ADV:er är till exempel om de kommer att omfattas av Maskindirektivet eller om de ska typgodkännas. Andra regler bestämmer t.ex. om fordonet ska ha registreringsskyltar, typ av trafikförsäkringar, var fordonen får köras och krav på körkort. Syftet är att fordonen på våra vägar ska vara säkra.

En genomgång av *befintliga* regelverk visar till exempel att ADV:er som ska kunna köra i 70 km/h och ha en kapacitet på 500 kg last bör klassas som en 4-hjulig tung motorcykel för godstransport. ADV:n behöver också ett typgodkännande. En ADV med den vikten och hastigheten kommer också att behöva uppfylla höga säkerhetskrav i en typgodkännandeprocess. En marknadsintroduktion därför kan ligga en bit bort i framtiden. Om hastighetskraven på ADV:er är satta till max 30 km/h kan de klassas som motorverktyg. Fördelen med motorverktyg är att dessa måste CE-märkas av tillverkaren, vilket kan innebära att de får kortare tid till marknad, eftersom den processen inte involverar förfarandet för typgodkännande.

3.7.2 Abstract (English)

The purpose of this study was to identify obstacles and opportunities to implement ADVs in Sweden from a regulatory perspective. The rules that may affect the development of ADVs are, for example, whether they are covered by the Machinery Directive or whether they should be type approved. Other rules concern license plates, motor liability insurances, where the vehicles are allowed to drive and driving license requirements. The aim of the legislations is to ensure a safe vehicle.

After a review of *existing* regulations, it is closest at hand that future ADVs with a maximum speed of 70 km/h and a maximum load capacity of 500 kg are classified as a 4-wheel heavy motorcycle for the transport of goods. The ADV also needs a type-approval. It can be argued that an ADV with that load capacity and max speed must fulfil rigorous requirements from a safety perspective in a type-approval process and, therefore, a market introduction may be further away in time. However, if the max speed is 30 km/h the ADV could be classified as a motor tool, which means that they must be CE-marked by the manufacturer, but with no demand for type approval, which could make time to market shorter, since that would not involve a type approval process.

3.7.3 Rapport /Full report

This report is in Swedish. Abstract in English.

Andersson, K. (2022), *Autonoma leveransfordon – vad är de för sorts fordon och har det någon betydelse? (Eng. Automated delivery vehicles - what kind of vehicles are they and does it matter?)*, ISBN 978-91-89711-44-0, RISE report 2022:100

3.8 Challenges and potential business applications for automated delivery vehicles

3.8.1 Sammanfattning (svenska)

Denna rapport tar upp drivkrafterna bakom utvecklingen av mindre självkörande leveransfordon (eng. *Automated Delivery Vehicle*, ADV), t.ex. ökad urbanisering, e-handel, samt krav på effektiva transporter och krav på klimatmål. Det finns även utmaningar för att ADV:er ska kunna operera i kommersiell skala. Dels är tekniken för självkörande fordon (sensorer och mjukvara) inte tillräckligt utvecklade för att köra i publika miljöer (vissa ADV:er kan köra i begränsade områden under nära övervakning av s.k. säkerhetsförare), dels är godsvolymerna relativt små, samt att logistikkedjan ännu kräver en del manuellt arbete. Eftersom ADV:er är förarlösa finns potential att minska lönekostnader, men föraren har fler roller i transportkedjan än att köra fordonet och hantera komplexa trafiksituationer, t.ex. att leverera paketet ända fram till adressaten, attestera, ha dialog med kunderna m.m., vilket ADV:er inte kan. För många företag är föraren ansiktet utåt och viktig för relationerna med kunderna.

I rapporten finns en kortare genomgång av flera ADV-koncept, deras marknader och i vilka utvecklingsfaser de befinner sig i. Rapporten tar också upp potentiella användningsområden för ADV:er, samt de affärsmässiga utmaningarna med ADV:er baserat på workshops med olika intressenter kring ADV:er, samt intervjuer med företrädare av tre möjliga användningsområden för ADV:er: flygplatser, matleveranser och leveranser och mindre paket, och vilken nytta ADV:er skulle bidra med inom dessa verksamheter. På flygplatser skulle ADV:er t.ex. kunna transportera bagage, men även gods från leverantörer av mat och material. För leverantörer av mindre paket skulle ADV:er kunna utföra vissa transporter som i dag körs manuellt och för matleveranser skulle ADV:er kunna bidra till fler och snabbare hemleveranser.

Transportbehovet i tätorter kommer att fortsätta öka, vilket talar för att ADV:er skulle kunna fylla en viktig funktion i last mile/sista milen-leveranser. Flera stora företag som Google, Amazon, Nvidia och Apple investerar i utveckling av ADV, men med de tekniska, legala och marknadsmässiga utmaningarna som självkörande fordon har att lösa är det ännu öppet om och hur marknaderna för ADV:er ser ut i framtiden.

3.8.2 Abstract (English)

This report addresses some of the driving forces behind the development of Automated Delivery Vehicle, (ADV), e.g. increased urbanization, e-commerce, as well as the demands for efficient transports and the demands to meet the climate goals.

There are several challenges for ADVs to operate on a commercial scale. On one hand, the technology (sensors and software) is not mature to enable driverless vehicles to drive in public spaces (some ADVs can drive in limited areas under close supervision by so-called safety drivers), and on the other hand, the freight volumes are relatively small, and the logistics chain still requires some manual work. In addition, current manually operated transports can deliver packages door-to-door, which ADVs cannot. Since ADVs are driverless, there is potential to reduce wage costs, but the drivers do much more than just driving the vehicle. The drivers handle complex traffic situations on a daily basis, and deliver the package all the way to the addressee, certifying, having dialogue with customers, etc. For many

companies, the drivers are also key in establishing and maintaining the relations with their customers.

The report includes a review of eight different ADV concepts around the world and their potential markets. The report also addresses some potential use cases for ADVs, as well as business challenges of ADVs based on a couple of workshops with various stakeholders as well as interviews with representatives of three possible application areas for ADVs: airports, food deliveries and deliveries and smaller packages. At airports ADVs could, for example transport luggage, goods from suppliers of food and materials. For suppliers of smaller packages ADVs could carry out transports that are currently run manually, and for food deliveries ADVs could provide more and faster home deliveries.

The need for transports in urban areas will continue to increase, which suggests that ADVs could play an important role in last-mile/last-mile deliveries. Several large companies such as Google, Amazon, Nvidia and Apple are investing the development of ADVs, but the technical, legal and market challenges are considerable.

3.8.3 Rapport /Full report

Gonzales, S., Sveder, C., Oscarsson, E., Jönsson, S., (2022) *Challenges and potential business applications of Automated Delivery Vehicle initiatives - a brief overview*, ISBN 978-91-89757-23-3

4 Kunskaps- och resultatspridning/Dissemination

- <https://www.lindholmen.se/sv/event/lindholmen-open-day-2022>
- <https://omad.tech/guldkorn-fran-svensk-forskning-och-utveckling/>
- <https://cleanmotion.se/wp-content/uploads/2020/06/Clean-Motion-PM-20200604-GLAD-Start-1.pdf>
- <https://borsvarlden.com/artiklar/clean-motion-startar-utvecklingen-av-en-sjalvkorande-variant-av-elfordonet-zbee/>
- <https://www.nyteknik.se/fordon/svenska-elmoppen-zbee-blir-sjalvkorande-stottas-av-trafikverket-6996606>
- <https://www.msn.com/sv-se/motor/nyheter/clean-motion-ska-utveckla-sjalvkörande-zbee/ar-BB154dh7?li=BBqxAa9>
- <https://feber.se/fordon/clean-motion-ska-utveckla-sjalvkorande-zbee/411994/>
- <https://www.trafikverket.se/om-oss/nyheter/aktuellt-for-dig-i-branschen3/aktuellt-for-dig-i-branschen/2020-08/godsleverans-under-den-sista-milen-med-sjalvkorande-fordon/>
- Slutseminarium at Lindholmen Open Day, Göteborg
(<https://www.lindholmen.se/sv/event/lindholmen-open-day-2022>)

5 Projektparter och kontaktpersoner/Partners and contact

RISE Research Institutes of Sweden AB (koordinator/coordinator)

Mikael Söderman, mikael.soderman@ri.se

Combitech AB

Gustaf Bergström, gustaf.bergstrom@combitech.com

Aptiv AB

Rikard Nilsson/Rasmus Clasen, rickard.nilsson@aptiv.com, rasmus.clasen@aptiv.com

Clean Motion AB

Christoffer Sveder, christoffer@cleanmotion.se

Högskolan i Halmstad

Pontus Wärnestål, pontus.warnestal@hh.se

Referenser/References

Andersson, J., Habibovic, A., *How to convey the intent of an automated vehicle with its longitudinal and lateral movements - evaluating four communication concepts in two traffic situations involving pedestrians* (Report under construction, 2022)

Andersson, K. (2022), *Autonoma leveransfordon – vad är de för sorts fordon och har det någon betydelse?* (Eng. *Automated delivery vehicles - what kind of vehicles are they and does it matter?*), ISBN 978-91-89711-44-0, RISE report 2022:100

Gonzales, S., Sveder, C., Oscarsson, E., Jönsson, S., (2022) *Challenges and potential business applications of Automated Delivery Vehicle initiatives - a brief overview*, ISBN 978-91-89757-23-3

Söderman, M. (2022), *Typical and critical traffic situations with small electric delivery vehicles – indications for future automated delivery vehicles*, ISBN 978-91-89757-19-6, RISE report 2022:130

Söderman, M., Andersson, J., Habibovic, A., (2022), *Use cases and high-level requirements for safe interactions between Automated Delivery Vehicles and human operators in a terminal*, ISBN 978-91-89757-20-2, RISE report 2022:131

Söderman, M., Clasen, R., Bergström, G., Collings, W., (2022 a) *Development of self-driving and control room functions and of external HMI for Automated Delivery Vehicles*, ISBN 978-91-89757-21-9, RISE report 2022:132

Söderman, M., Clasen, R., Bergström, G., Collings, W., (2022 b) *People's understanding of external HMI and their experiences of interacting with an Automated Delivery Vehicle in a terminal context*, ISBN 978-91-89757-22-6, RISE report 2022:133