

# iQMatic år 4

Publik rapport



Författare: Lars Hjorth  
Datum: 2017-10-31  
Projekt inom Trafiksäkerhet och automatiserade fordon

**FFI** Fordonsstrategisk  
Forskning och  
Innovation

VINNOVA

Ersgårdsgruppen

TRAFIKVERKET

FMG  
off Road

SENSORS

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

# Innehållsförteckning

<b>1 Sammanfattning .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Executive summary in English.....</b>	<b>3</b>
<b>3 Bakgrund.....</b>	<b>3</b>
<b>4 Syfte, forskningsfrågor och metod .....</b>	<b>6</b>
<b>5 Mål .....</b>	<b>6</b>
<b>6 Resultat och måluppfyllelse .....</b>	<b>6</b>
<b>7 Spridning och publicering .....</b>	<b>9</b>
7.1 Kunskaps- och resultatspridning .....	9
7.2 Publikationer.....	9
<b>8 Slutsatser och fortsatt forskning .....</b>	<b>10</b>
<b>9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....</b>	<b>11</b>

## 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.  
[www.vinnova.se/ffi](http://www.vinnova.se/ffi)

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

# 1 Sammanfattning

Projektet iQmatic har nu genomfört i sin helhet, dvs de 3 + 1 år som beviljats bidrag från FFI. Denna rapport är en redovisning av de sista året av projektet, dvs projektet "iQmatic - finansiering av sista året" Diarienummer 2013-03964. De första tre åren har tidigare redovisats som "iQmatic - framtidens autonoma transportsystem", Diarienummer 2012-04626.

Projektet har genom ett systematiskt samarbete mellan industri och akademi arbetat igenom olika aspekter av automatiska fordon. Studierna inom projektet iQmatic har avhandlat sensorer, sensorfusion, reglerteknik, planering av körväg, kommunikation samt hur ett ledningssystem för automatiska fordon skulle kunna fungera. Även interaktionen mellan människa och transportsystem har undersökts och möjlig lösning tagits fram.

Faktiska resultat har demonstrerats inom projektet och tester i verklighetstrogen miljö har genomförts med positivt resultat och gensvar. Dessa tester har i huvudsak genomförts i den i projektet framtagna forskningsplattformen. En plattform som innehåller så väl off- som on-board system för att styra och dirigera fordon som faktiska fordon utrustade med sensorer och aktuatorer som möjliggör att dessa kan styras autonomt.

Resultaten från projektet har presenterats i ett flertal vetenskapliga publikationer har möjliggjorts genom projektet.

## 2 Executive summary in English

The iQmatic project has now been completed in its entirety, i.e. the 3 + 1 years that have been granted founding from the FFI program. This is a report of the final year of the project, the project called "iQmatic - Financing of the Last Year", Diary Number 2013-03964. The first three years have previously been reported as "iQmatic - Autonomous Transport System of the Future", Diary Number 2012-04626.

Through a systematic collaboration between industry and academy, this project has worked with various aspects of autonomous vehicles and autonomous transport solutions. The studies in the iQmatic project have dealt with sensors, sensor fusion, control technology, route planning, communication, and how an automated vehicle management system could work. The interaction between man and transport systems has also been investigated and a possible solution has been identified.

Actual results have been demonstrated within the project, and real-life tests have been conducted with positive results and responses. These tests have mainly been carried out in the research platform developed in the project. A platform that contains as well off- and on-board systems to control and managing vehicles as-well as real vehicles equipped with sensors and actuaries allowing them to be operated autonomously.

Since "iQmatic Financing of the Last Year" is a continuation of a previous project, much of the work has been to further develop and complete the work and results generated in the previous project. However, new functionality has also evolved during the year, enabling an expansion of possible driving instances that the research platform can handle. This can be highlighted by road-road driving on sensor-based road estimation and driving with vehicles with trailers.

Road traffic on sensor-based road estimation has been made possible through continued work on sensors, perception algorithms and control algorithms. But an important part has also been the development of a new motion planner. The new planner is a so-called Lattice planner.

The work associated with driving with vehicles with trailers has been focused on autonomous backing, so this driving event has been considered to be this driving case, which differs most from a vehicle without a trailer. In this work, motion planning algorithms, position estimation of the trailer and regulatory strategies

have been developed and tested. An important component of this work has been to develop methods for estimating the trailer's position relative to its own vehicle using optical sensors mounted on its own vehicle.

The results of the project have been presented in a number of scientific publications have been made possible through the project.

### 3 Bakgrund

Svensk fordonsindustri utgör en stor och betydelsefull del av den svenska exporten. För de svenska fordonstillverkarna svarar den inhemska marknaden endast för en liten del av den globala försäljningen, samtidigt som huvuddelen av forskningen och den tekniska utvecklingen sker i Sverige.

Det förespås ett generationsskifte där fordonen går från förarkontroll till autonom kontroll. Detta skifte har redan börjat – idag finns redan aktiva system som ingriper i mycket kritiska situationer för att undvika olyckor och öka säkerheten. Även semi-automatiserade funktioner som till exempel ”Adaptiv farthållare” finns i dag att köpa från de svenska fordonstillverkarna. Den adaptiva farthållaren är ett automatiserat system där föraren överlämnar den longitudinella kontrollen av fordonet till fordonets autonoma system. Den adaptiva farthållaren har förutom säkerhets fördelar även stor utvecklingspotential för att uppnå förbättrad energi- och trafikeffektivitet.

De semi-autonoma personbilar som visas upp idag framställs ofta som ett bekvämt sätt att förflytta sig samtidigt som man kan läsa, arbeta, vila, ägna sig åt sociala medier eller andra sidouppgifter. För tunga fordon är scenariot dock annorlunda – de kör normalt inte för att förflytta föraren, utan för att utföra ett uppdrag som en kugge i samhällets transportmaskineri. Med ett växande transportbehov lämnas allt mindre utrymme för fel eller ineffektivitet, då även små störningar kan orsaka stora trafikproblem. Genom att låta fordonen själva ta över en större del av uppgifterna kan operatören fokusera sin uppmärksamhet på de mest komplicerade situationerna, alternativt sköta flera fordon.

Trots att skiftet till automatiserade fordon har börjat med nya system för vägfordon förväntas utvecklingen ledas av fordon dedikerade till applikationer inom avgränsade områden så som bergtäkter, grustag, gruvområden, byggplatser, lastterminaler samt fabriksliknande miljöer. Stora vinster är möjliga när automatiserade fordon agerar kollektivt. Detta kräver i sin tur utbyggnad av kommunikationssystem och infrastruktur samt införande eller justering av lagar och regler som passar de automatiserade fordonen, vilket är mindre komplicerat för ett begränsat område än i den allmänna trafikmiljön.

Forskning inom autonoma fordon ger samhället förutsättningar för effektiv och säker trafik trots stor tillväxt, samt bidrar till att behålla den svenska fordonsindustrins konkurrenskraft, spetskompetens och arbetstillfällen.

Bakomliggande drivkrafter för en ökad grad av automatisering i framtidens trafikmiljö:

#### ▪ Miljö

Genom att systematiskt styra flera fordon tillsammans, ”mission control”, istället för som med förarstyrda fordon reglera varje fordon individuellt kan avståndet mellan fordon förkortas och trafikrytmen förbättras. Att optimera globalt istället för lokalt gynnar både det enskilda fordonets bränsleförbrukning och trafikrytmen, vilket möjliggör ett bättre utnyttjande av vägsystemet med jämnare trafikflöde och minimering av start och stopp. Förarens småfel orsakar inte längre sammanstötningar som skapar miljöbelastande trafikstockningar och onödiga reparationer. Autonoma arbetsfordon kan dessutom bidra ytterligare då systemeffektivitet kan prioriteras före behov som härrör till föraren, så som sittplats, luftkonditionering och dylikt.

#### ▪ Trafiksäkerhet

Semi-automatiserade system vidareutvecklar dagens förarstödsystem som assisterar föraren i såväl monotona som i komplexa situationer genom att erbjuda en högre grad av avlastning.

Olyckor i tät trafik orsakas ofta av de tryckpulsationer som uppstår när en förare lokalt försöker hålla hög hastighet. Genom att automatisera delar av förarens uppgifter och ge densamme en bättre överblick över helheten skulle dessa oönskade beteenden kunna reduceras kraftigt. Detta skulle kunna leda till kraftigt förbättrade trafikflöden vilket ger betydligt färre kritiska situationer, samt utnyttjar befintlig infrastruktur på ett effektivare sätt. För att uppnå dessa vinster i tät trafik krävs endast att en del av fordonen är automatiserade – de kommer ändå att kunna bli styrande i trafikflödet – även om fördelarna växer med andelen automatiserade fordon.

I komplexa miljöer kan ett automatiserat fordon dessutom överta den vanliga körningen och tillåta föraren att fokusera sin uppmärksamhet på skeenden som är oväntade eller kräver mänsklig intuition för att tolka. Vi vet att grundorsaken till många singel- och arbetsplatsolyckor med fordon orsakas av trötthet eller distraktion – som i sin tur ofta kommer av monotona körsituationer. Genom att automatisera monotona uppgifter kan denna typ av olyckor förebyggas.

#### ▪ Effektivisering

Färre olyckor, jämnare trafikflöde (hastighet) och minskade avstånd skulle minska restiden och öka kapaciteten i trafiksystemet, samtidigt som miljöbelastningen minskas. Detta är av särskild vikt i områden med hög trafikintensitet och frekventa köer så som tätbefolkade områden i Centraleuropa, tillfarter till större städer, megastäder i Asien, etc. I många av dessa områden är en utbyggnad av infrastrukturen svår pga. platsbrist.

Anläggningsfordon är en kategori som löper stor risk att drabbas av olyckor. Samtidigt ser sig många användare av dessa fordon om efter mer kostnadseffektiva alternativ. Genom automatisering av anläggningsfordon ges möjligheten att få bort oskyddad personal från utsatta arbetsmiljöer där det finns risk för allvarliga olyckor. Automatisering av anläggningsmaskiner kan även reducera tunga, enahanda arbetsuppgifter som leder till utslitning och arbetsskador. Genom att eliminera monotona uppgifter som leder till ouppmärksamhet och olyckor, kan effektiviteten ökas och produktionsbortfall och resursslöseri minskas.

Vid lastterminaler finns ett stort behov av automatisering, dels för att öka effektiviteten och dels för att alls göra det möjligt att hantera gods i den skala som krävs i de största hamnarna. Lastterminalerna är ett mycket attraktivt område att starta helautomatisering i, då det gäller kontrollerade områden som trafikeras av fordon som är konstruerade för att gå i vanlig trafikmiljö. Parallellt kan här dras till t.ex. utvecklingen och implementeringen av helt autonoma lagertruckar eller containerkranar som redan är kommersiellt tillgängliga. Kompetensen som byggs upp vid automatisering av vägfordon för terminalbruk kan sedan lyftas vidare ut i trafikmiljön allt eftersom tekniken mognar.

#### ⇒ Fordonsindustrin befinner sig i en kraftig kompetensväxling!

Primärt beror förändringen på att sensor-, aktuator- och halvledartechnologin nu har nått en sådan mognad att de väller in i fordonsindustrin. Detta innebär att svensk fordonsindustri snabbt måste ställa om från att ha varit en renodlad mekanisk verkstadsindustri med manuellt framförande av fordonen till att bli en mekatronisk verkstadsindustri med ett stort och snabbt växande inslag av fordonsautomatiserande mjukvaruverksamhet samt avancerad fordonskommunikation.

Det är av stor vikt för kompetensuppbyggnaden inom området automatisering att starta svenska projekt där automatiserade fordonskoncept utvecklas och testas i sin naturliga miljö. Med hjälp av konkreta tillämpade forskningsprojekt i kraftfulla autonoma forskningsplattformar skulle Sverige kunna bibehålla sin position inom fordonsautomatisering samtidigt som man utvecklar den kompetens som är nödvändig för att klara det generationsskifte som först arbetsfordon och sedan kommersiella och privata fordon står inför.

## 4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Huvudsyftet med projektet har varit att klargöra de utmaningar som samhället står inför nu när vi närmar oss ett paradigmskifte kring framförandet av fordon, övergången till automatiska fordon och automatiska transportsystem. För att göra framsteg har vi begränsat oss och fokuserat på ett exempel område, mining, i första hand. Detta gör vi för att det idag inte finns några legala hinder från att köra autonomt i dessa avstängda och kontrollerade miljöer. Vi har dock inte begränsat oss till enbart detta utan även haft ett större perspektiv under projektets gång.

De huvudsakliga frågeställningarna har varit hur samhället påverkas av att vi introducerar automatiska fordon. Vilken påverkan har det på förare? Hur ser de på sitt yrke? Ses automation som ett hot eller som ett hjälpmedel?

Vi har även varit intresserade av hur hela transportflödet påverkas av automationen. Vilka möjligheter finns nu att effektivisera och förbättra leveranskvalitén? Kan man utifrån data förbättra hela processen så att man använder jordens begränsade resurser mer effektivt?

Sist har vi även frågan om hur man rent tekniskt bygger upp ett säkert och funktionellt automatiskt tungt fordon som kan användas i trafiken. Även här har vi börjat i en kontrollerad miljö för att bygga kunskap kring vår forskningsplattform och kunna expandera från detta. Vi har utrustat ett befintligt fordon med sensorik och övrig utrustning, såsom referenssystem för positionering och forskningshårdvara för beräkning och sedan systematiskt arbetat med att bygga vår kunskap och öka fordonets förmåga till automatisk operation.

Vår metodik bygger huvudsakligen på två idéer. Den första är data-driven utveckling. Det innebär att vi använder forskningsplattformen för att samla in data i ett specifikt användningsområde, t ex körning på en grusväg, med alla sensorer som behövs för detta. I dessa loggar har vi även inkluderat data från referenssystem som sedan används som facit i de fall det är möjligt. I skrivbordsdelen av forskningsmiljön är det sedan möjligt att importera data från loggarna och utveckla algoritmer och metoder som ger önskat resultat. Efter en tidsbestämd period är det sedan dags att utvärdera om resultaten stämmer med verkligheten genom att genomföra prov i fordonet. Detta itereras tills önskad precision uppnås.

Den andra metoden gäller forskning i återkopplade system där data-driven utveckling är svår att genomföra då de inspelade informationen blir ogiltigt så fort en styrsignal förändras. För dessa fall har vi skapat en simuleringsmiljö med möjlighet att modellera fordonet, omvärlden och våra sensorer. Som fordonsmodell kan vi använda förenklade dynamikmodeller, för omvärlden kan vi skanna in eller använda tidigare genererade kartor och för vissa av sensorerna har vi fått modeller från underleverantörerna. Denna först enkla möjlighet till återkopplad simulering har inneburit stora framsteg i utvecklingsmetodiken och även inspirerat till egna projekt i ämnet.

En viktig del i projektet har varit samverkan mellan akademi och industri. Under hela projektet har forskare från akademien alltid varit välkomna hos industrin och flera av doktoranderna har tillbringat en stor del av sin tid hos industrin, främst i Södertälje. Detta har haft två viktiga syften, dels har den akademiska forskningen kunnat genomföras baserat på riktigt data vilket borgar för att forskningen blir relevant för samhället. Dels har det skapat djupa samarbeten som gör att industrin har fått tillgång till den senaste forskningen och kunnat dra nytta av den.

## 5 Mål

Autonoma transportsystem kan vid tillämpning i samhället ge en betydande ökning av mängden transporterat tonnage tillsammans med minskad bränsleförbrukning och driftskostnad. Trafik- och arbetsplatssäkerheten ska vara högre än vid bruk av konventionella fordon. Projektet iQMatic lägger en stor och viktig del av grunden till förarlösa, verkligt autonoma tunga fordon genom:

- Utveckling av en omgivningsmodell för att ge ett fordon förmågan att agera självständigt.
- Bestämmande av ett fordons manöverförmåga och begränsningar för att undvika skapande av farliga situationer.
- Utveckling av ett ledningssystem för samordning och planering, samt kommunikation mellan ledning och fordon.
- Tillämpning av ovanstående delar i ett fysiskt fordon.
- Vid projektets slut ska fem doktorsavhandlingar inom området vara slutförda.

## 6 Resultat och måluppfyllelse

Projektet iQMatic har totalt löpt över 4-år med finansiering i två omgångar, första tre åren "iQMatic - framtidens autonoma transportsystem", Diarienummer 2012-04626 och det sista och fjärde året "iQMatic - finansiering av sista året", Diarienummer 2013-03964. Resultatdelen fokuserar på arbeten som gjorts inom projektet "iQMatic - finansiering av sista året", dock är det inte en skarp avgränsning då arbetet under år 4 bygger på resultat och arbeten som påbörjats under de 3 första åren av projektet.

I projektansökan beskrevs att projekterat skulle bidra till programmets båda övergripande mål genom

- forskning inom ett ämne som i framtiden kommer att vara avgörande för att den svenska fordonsindustrin ska kunna behålla sin framstående ställning inom fordonssystem och –säkerhet
- samverkan mellan svensk industri och akademi för att garantera försörjningen av strategisk kompetens
- samverkan mellan olika kompetensområden inom svensk industri som alla är nödvändiga för att uppnå autonoma tunga fordon, vilket skulle vara omöjligt för varje område var för sig
- resultat som ger förutsättningar till ökad spridning av säkrare fordonssystem i samhället, såväl på längre sikt mot autonoma fordon som på kortare sikt mot nyskapande förarassistanssystem som spin-off:s från projektet

iQMatic verkar specifikt inom områdena Intelligenta krockundvikande system och fordon och Förarstöd och relaterade gränssnitt mellan förare och fordon.

Projektet har bidragit till dessa mål samt de i projektet uppsatta målen, se kapitel 5, genom att arbetet har skett med ett tätt samarbete mellan akademien och de industriella parterna. Detta arbete har resulterat i ett 20-tal artiklar och avhandlingar, se kapitel 7.2. En viktig del i arbetet med att säkerställa transparens mellan industriparterna och akademien har varit att doktoranderna aktiva inom projektet har tillbringat en stor del av sin tid på Scania i Södertälje och aktivt jobbat med industriparterna på en daglig basis.

En annan viktig faktor har varit att industripartners och akademi har tillsammans utvecklat den forskningsplattform som under projektet använts för praktisk utvärdering av framtagna metoder inom perception, planering och reglering.

Detta arbete har varit en viktig del i att skapa en god förståelse för de teoretiska och praktiska frågeställningarna som måste hanteras vid utveckling av ett autonomt transportsystem för autonoma tunga fordon, samt bidragit till att skapa en gemensam syn på frågeställningarna hos projektpartnerna.

Utvärderingsarbetet med hjälp av forskningsplattformen har huvudsakligen bedrivits på Scania CV AB testanläggning i Södertälje, där utvärderingar kunnat genomföras både på grusvägar och asfalterade vägar som motsvarande normala landsvägförhållanden. Tester har dock även genomförts på externa anläggningar, under två veckor i oktober 2016 utfördes tester och datainsamling i en Skandinavisk gruva

under jord. Här testades sensorer perceptions-, planerings- och regleralgoritmer i miljöer utan GPS-täckning.

Då "iQMatic - finansiering av sista året" är ett fortsättning av ett tidigare projekt så har en stor del av arbetet varit att vidareutveckla och slutföra arbeten och resultat som tagits fram i det tidigare projektet. Dock har även ny funktionalitet utvecklats under året vilket möjliggjort en utökning av möjliga körfall som forskningsplattformen kan hantera. Här kan framhållas körning i landsvägsfart på sensorbaserad vägskattning och körning med fordon med släp.

Körning i landsvägsfart på sensorbaserad vägskattning har möjliggjorts genom fortsatt arbetet kring sensorer, perceptionsalgoritmer och regleralgoritmer. Men en viktig del har även varit utvecklingen av en ny rörelseplanerare. Den nya planerare är en sk Lattice planner.

Arbetet kopplat till körning med fordon med släp har varit fokuserat på autonom backning så detta körfall har bedömts att vara detta körfall som skiljer sig mest från ett fordon utan släp. I detta arbete har rörelse planerings algoritmer, positionsskattning av släpet samt reglerstrategier utvecklats och testats. En viktig komponent i detta arbete har varit att utveckla metoder för att skatta släpets position relativt det egna fordonet genom att använda optiska sensorer monterat på det egna fordonet.

Resultat från projektet visades upp i samband med demonstrationsdagar i juni 2017 för bla Scania och VW Truck and Bus ledningsgrupper samt inbjudan interna och externa representanter för samarbetspartner, akademien och myndigheter. Under dagarna, då ett flertal forsknings projekt visades, demonstrerades körning av autonomt fordon i hög hastighet på väg. Systemet kan hantera hela händelsekedjan från skapa uppdrag off-board – skicka uppdrag till fordon – utföra planerna – rapportera att uppdraget slutförts.



## 7 Spridning och publicering

### 7.1 Kunskaps- och resultatsspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Projektet har bidragit till ökad kunskap om automatiska fordon inom Scania och en medvetenhet om att det numera är tekniskt möjligt att kommersialisera denna teknologi.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Projektet har lett till en direkt avknoppning samt inspirerat till flera.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Utvecklingsprojekt har startats för att skapa en produkt av ideerna i projektet.
Introduceras på marknaden		
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		

### 7.2 Publikationer

Nedan listas de publicerade forskningspublikationer som resulterat från fokuserad forskning inom projektet.

Bradler H., Ochs M., Fanani N., Mester R., Joint Epipolar Tracking (JET): Simultaneous optimization of epipolar geometry and feature correspondences, *IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision*, 445-453, 2017.

Eidehall, A., Askling, J., and Spies, H., "Real Time Drivable Surface Determination Based on Stereo Vision," *SAE Technical Paper 2016-01-0169*, 2016

Eldesokey A., Felsberg M., Shahbaz Khan F., Ellipse Detection for Visual Cyclists Analysis "In the Wild", *International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns*, 319-331, 2017.

Evestedt N., Ward E., Folkesson J., Axehill D. Interaction aware trajectory planning for merge scenarios in congested traffic situations. In 2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pages 465–472, Windsor Oceanico Hotel, Rio de Janeiro, Brazil, November 2016.

Evestedt N., Ljungqvist O., Axehill D. Motion planning for a reversing general 2-trailer configuration using closed-loop RRT. In 2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pages 3690–3697, Daejeon Convention Center, Daejeon, Korea, October 2016.

Evestedt N., Ljungqvist O., Axehill D. Path tracking and stabilization for a reversing general 2-trailer configuration using a cascaded control approach. In 2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), pages 1156–1161, Lindholmen Conference Centre, Gothenburg, Sweden, June 2016.

Evestedt N., Axehill D., Trincavelli M., Gustafsson F. Sampling recovery for closed loop rapidly expanding random tree using brake profile regeneration. In *Proceedings of the 2015 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pages 101–106, June 2015.

Evestedt N., *Sampling Based Motion Planning for Heavy Duty Autonomous Vehicles*, Linköping University, Department of Electrical Engineering, Automatic Control. Linköping University, Faculty of Science & Engineering.

Fanani N., Mester R., Propagation based tracking with uncertainty measurement in automotive applications, *IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation*, 117-120, 2016.

Fanani N., Stürck A., Ochs M., Bradler H., Mester R., Predictive monocular odometry (PMO): What is possible without RANSAC and multiframe bundle adjustment?, Invited paper for *Image and Vision Computing, Special Issue on Automotive Vision*, Elsevier, 2017.

Ljungqvist O., Evestedt N., Cirillo M., Axehill D., Holmer O. Lattice-based motion planning for a general 2-trailer system. In *2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pages 819–824, Crown Plaza, Redondo Beach, California, USA, June 2017.

Ljungqvist O., Axehill D., Helmersson A.. Path following control for a reversing general 2-trailer system. In *Proceedings of the 55th IEEE Conference on Decision and Control*, pages 2455–2461, ARIA Resort & Casino, Las Vegas, USA, December 2016.

Lima P. F., Trincavelli M., Mårtensson J., Wahlberg B., Experimental evaluation of economic model predictive control for an autonomous truck, *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) 2016; Gotenburg Sweden, 19 June 2016 through 22 June 2016*, 2016.

Lundahl K., Frisk E., Nielsen L., Implications of Path Tolerance and Path Characteristics on Critical Vehicle Maneuvers. (Accepted for publication), Accepted for publication (<http://dx.doi.org/10.1080/00423114.2017.1339891>).

Morsali M., Frisk E., and Åslund J., Real-time velocity planning for heavy duty truck with obstacle avoidance. *IEEE Intelligent Vehicle Symposium*. Redondo Beach, California, USA, 2017

Morsali M., Mohseni F., Frisk E., Deterministic Path Planning for Non-Holonomic Vehicles Including Friction and Steer Rate Limitations. *IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety*. Vienna, Austria, 2017

Robinson A., Persson M., Felsberg M., Robust Accurate Extrinsic Calibration of Static Non-overlapping Cameras, *International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns*, 342-353, 2017.

Ward E., Evestedt N., Axehill D., Folkesson J., Probabilistic model for interaction aware planning in merge scenarios. Accepted for publication in *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, July 2017.

## 8 Slutsatser och fortsatt forskning

Intresset för resultaten från forskningen har varit stort, både inom Scania och de andra parterna där många försöker förstå hur automatiska fordon kommer att påverka företagets affärsmodell och vilka krav det kommer att ställa produkten i framtiden, samt även externt där ett flertal reportage har genomförts med journalister och övriga externa intressenter.

Sammantaget har projektet lett till ökad kunskap om många utmaningar med självkörande fordon men vi konstaterar också att det finns många problem kvar att studera innan en fullt självkörande lastbil kan nå den högsta graden av automation. Vi har inspirerats att starta upp ett följdprojekt med fortsatta studier av hur backning av fordonskombinationer, t ex lastbil med släp kan manövreras och vi ser flera problem som behöver studeras bortom resultaten av detta projekt.

Slutligen konstaterar vi att utan finansiering från FFI i detta projekt hade inte utvecklingen kunna gå lika fort och det hade varit mindre effektiva samarbeten mellan akademiska parter och även mellan de industriella parterna.

## 9 Deltagande parter och kontaktpersoner

### Scania CV AB

Lars Hjorth



### Saab

Jan Thörnqvist



### Autoliv

Jonas Hammarström



### LiU

Fredrik Gustavsson

Michael Felsberg

Lars Nielsen



### KTH

Bo Wahlberg

Patric Jensfelt

