

# FFI

FORDONSSTRATEGISK  
FORSKNING OCH INNOVATION



## Reliable Communication for Heavy vehicles



Författare: Kristian Karlsson, Carl Bergenhem, Samuel Wickström, Russ Whiton och Magnus Olbäck.

Datum: 2015-03-31

Delprogram: Fordonsutveckling - Möjliggörande elektronik.

## Innehåll

<b>Sammanfattning.....</b>	<b>3</b>
<b>Bakgrund .....</b>	<b>3</b>
<b>Syfte.....</b>	<b>4</b>
<b>Genomförande.....</b>	<b>5</b>
<b>Resultat .....</b>	<b>6</b>
5.1 Bidrag till FFI-mål .....	8
<b>Spridning och publicering.....</b>	<b>9</b>
6.1 Kunskaps- och resultatspridning .....	9
6.2 Publikationer .....	9
<b>Slutsatser och fortsatt forskning.....</b>	<b>10</b>
<b>Deltagande parter och kontaktpersoner .....</b>	<b>11</b>

### Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings-, innovations- och utvecklingsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Säkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör hälften.

För närvarande finns fem delprogram Energi & miljö, Fordons- och trafiksäkerhet, Fordonsutveckling, Hållbar produktionsteknik och Transporteffektivitet. Läs mer på [www.vinnova.se/ffi](http://www.vinnova.se/ffi)

## 1. Sammanfattning

Det övergripande syftet med projektet har varit forskning inom tillförlitlig trådlös kommunikation för fordonståg med tunga fordon. Detta genom att karakterisera tillförlitligheten, men även genom att förbättra denna med hjälp av smarta kommunikations- och antennlösningar som inte bryter mot fordonskommunikationsstandarden ETSI ITS-G5. Tillförlitlig trådlös kommunikation är en förutsättning för fordonståg, som möjliggör minskad energiåtgång vid tunga transporter, förbättrad trafiksäkerhet och ökad trafikeffektivitet, vilka samtliga är viktiga mål som formulerats inom transport-, energi och miljöpolitiken.

Projektet har genomförts i samarbete mellan Scania, Volvo, SP, Kapsch och Qamcom.

Projektet har fokuserat på och byggt upp kunskap kring:

- Informationsdelningskoncept för kooperativa fordonstågsapplikationer.
- Antennutveckling och antennplacering för tunga fordon.
- Antenndiversitet på sändar- och mottagarsidan samt kommunikationsalgoritmer för att motverka den storskaliga fädningen som orsakas av bl.a. tunga fordon med släp.
- Systemarkitektur och komplexa scenarier.
- Prestandamått och mätmetoder för att kunna bedöma tillförlitligheten i ETSI ITS-G5 baserad trådlös kommunikation.
- Standardiseringsarbetet med avseende på ETSI.

Projektet har stärkt samarbetet mellan samtliga parter inom trådlös kommunikation i allmänhet och ETSI ITS-G5 relaterade frågeställningar i synnerhet. Exempelvis, så har samarbetet möjliggjort en gemensam syn på hur standardiserade lösningar för fordonståg skall utformas.

## 2. Bakgrund

Trafiksituationen i världen kommer att förändras drastiskt de kommande åren. Ökad trafikintensitet, nya miljökrav och krav på säkerhet ställer nya krav på transportsektorn i stort. Med ökad trafikintensitet ökar också sannolikheten för trafikolyckor, som redan idag orsakar stort lidande och höga kostnader för samhället. Det behövs forskning och utveckling på många olika plan för att möta de nya kraven. Ett sätt är att utrusta fordon och väginfrastruktur med trådlös kommunikationsutrustning som möjliggör utbyte av information i realtid med syfte att öka trafiksäkerheten och trafikeffektiviteten samt ett bättre utnyttjande av vägbanorna.

För att kunna göra ett informationsutbyte krävs standarder, och 2007 inleddes arbetet inom ETSI i Europa att ta fram standarder för fordonskommunikation. En teknisk kommitté inom intelligenta transportsystem (TC ITS) bildades som innehåller fem arbetsgrupper med fokus på olika delar av kommunikationen. Det harmoniserade frekvensband som ska användas för fordonskommunikation över hela Europa återfinns på 5.9 GHz (även USA och Japan har liknande frekvensband på 5.9 GHz) vilket är en hög bärvågsfrekvens som i sin tur medför att antennplacering får stor påverkan på utfallet av utförda transmissioner. Tunga fordon är extra utmanande p.g.a. deras storlek och det finns ingen självklar placering eftersom penetrering av objekt är låg, till exempel blockerar signalen av lastutrymmet på en lastbil om den är gjord av ledande eller absorberande material. Blockerade signaler resulterar i tappad information vilket i sin tur leder till fördröjningar och ökad osäkerhet i ITS-applikationerna. Tillförlitligheten hos ITS-G5 kan adresseras på flera lager i protokollstacken men tillskrivs för det mesta det fysiska lagret som återfinns längst ner i stacken. Detta lager är redan standardiserat i ITS-G5 och ändringar och tillägg till denna del är mycket kostsamma och kräver ett nytt radiochip. Därför har fokus i detta projekt varit att förbättra tillförlitligheten genom att utveckla specialanpassade antenner samt hitta bra antennplaceringar för tunga fordon. Dessutom genom att utveckla metoder för antenndiversitet (som kan användas utan ändringar i standarden) och multi-hop algoritmer som kan implementeras länge upp i protokollstacken.

I Europa har mycket forskningsresurser satsats på utvecklandet av applikationer baserade på vald fordonskommunikationsstandard, se exempelvis EU-projekten: CVIS, Safespot, Drive C2X och SARTRE (har implementerat fordonståg). Samtliga projekt har påvisat problem med tillförlitligheten i den trådlösa länken p.g.a. den höga bärvågsfrekvensen. Om hög tillförlitlighet inte kan garanteras blir det svårt att utveckla kommersiella kooperativa funktioner som syftar till att höja trafiksäkerheten samt öka trafikeffektiviteten.

### 3. Syfte

Det övergripande syftet med projektet har varit att karakterisera tillförlitligheten i den trådlösa kommunikationen för fordonståg med tunga fordon samt förbättra denna genom att införa smarta kommunikations- och antennlösningar som inte bryter mot standarden för trådlös kommunikation mellan fordon och mellan fordon och infrastruktur, ETSI ITS-G5. Som beskrivs i bakgrunden är fordonståg ett av sätten att närma sig framtida mål om energisnålare, säkrare och effektivare godstransporter.

Projektet har fokuserat på följande mål för att uppnå syftet:

- Utveckla prestandamått och mätmetoder för att kunna bedöma tillförlitligheten i trådlös kommunikation baserat på ETSI ITS-G5.

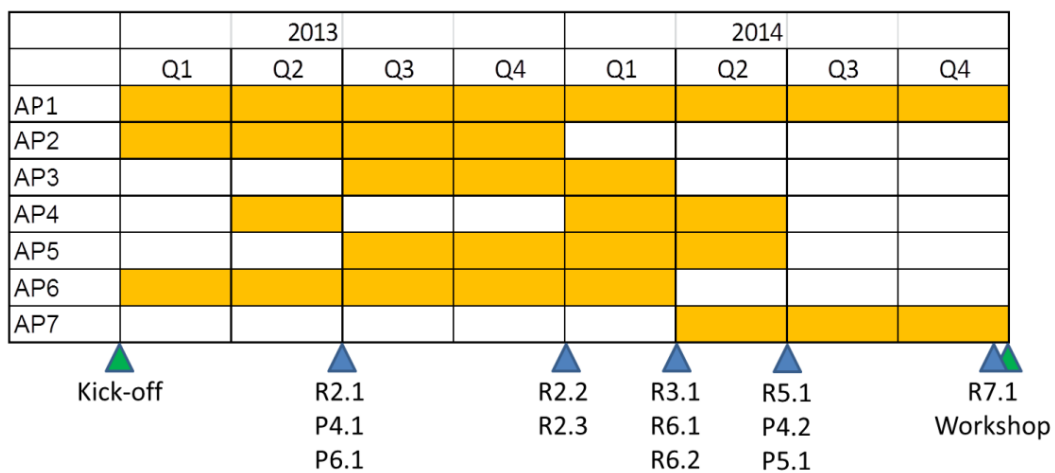
- Öka tillförlitlighet och prestanda för ITS-applikationer genom att använda flera antenner placerade på olika ställen/höjd och därigenom utnyttja sändar- och mottagardiversitet.
- Ta fram antennprototyper och antennplaceringar anpassade till tunga fordon för tillförlitlig trådlös kommunikation.
- Studera systemarkitektur för kostnadseffektiva lösningar.
- Utveckla och utvärdera algoritmer för val av sändarantenn och multi-hop scheman.
- Definiera informationsdelning för en eller flera fordonstågsapplikationer och dela med standardiseringsarbetet inom ETSI.
- Demonstrera ett fordonståg.

## 4. Genomförande

Projektet har varit indelat i sju arbetspaket (AP) enligt:

1. Projektledning.
2. Informationsdelning ITS.
3. Systemarkitektur.
4. Antennprototyper.
5. Diversitetskommunikation.
6. Tester.
7. Demonstration.

Med Gantt schema enligt figur 1 visas samband mellan AP och leverabler.



Figur 1. Gantt schema med leveranser (leveranser beskrivs i projektplanen).

## 5. Resultat

Projektet startade med framtagande av en *state-of-the-art* rapport och därefter definierades ett informationsdelningskoncept för flera varianter av kooperativa fordonstågsapplikationer med en funktionalitetsnivå som baseras på hur ofta, samt hur mycket information som sänds. Eftersom ETSI ITS-G5 har en starkt begränsad kapacitet (all kommunikation sker *ad hoc* med ett så kallat *listen-before-talk* protokoll) har avväganden gjorts mellan meddelandefrekvens och informationsmängd (meddelandelängd) å den ena sidan jämfört mot funktionalitet och tillförlitlighet å den andra sidan. Dessa resultat är input till standardiseringsarbetet inom ETSI.

I projektet har vi undersökt antenndiversitet och hur man väljer sändarantenn baserat på fordonstågets geometri och även på realtidsskattning av kanalen. På mottagarsidan har signaler från flera antenner kombinerats med olika tekniker (t.ex. eng. *selection combining* eller *maximum ratio combining*) för att förbättra tillförlitligheten. Det finns olika sätt att implementera föreslagen antenndiversitet (switchar på radiokortet, flera radionoder m.m.), och detta har studerats och prestanda har vägts mot praktiska och ekonomiska aspekter i ett systemarkitektursarbete.

Genom mätningar i labb och i fält har olika antenntyper och antennplaceringar utvärderats (figur 2). Detta har resulterat i mycket kunskap om den radiokanal som används vid ITS-G5 kommunikation i kombination med tunga fordon. Sju olika antenner har utvecklats och verifierats i projektet. Antennutvecklingen resulterade dessutom i en patentansökan.

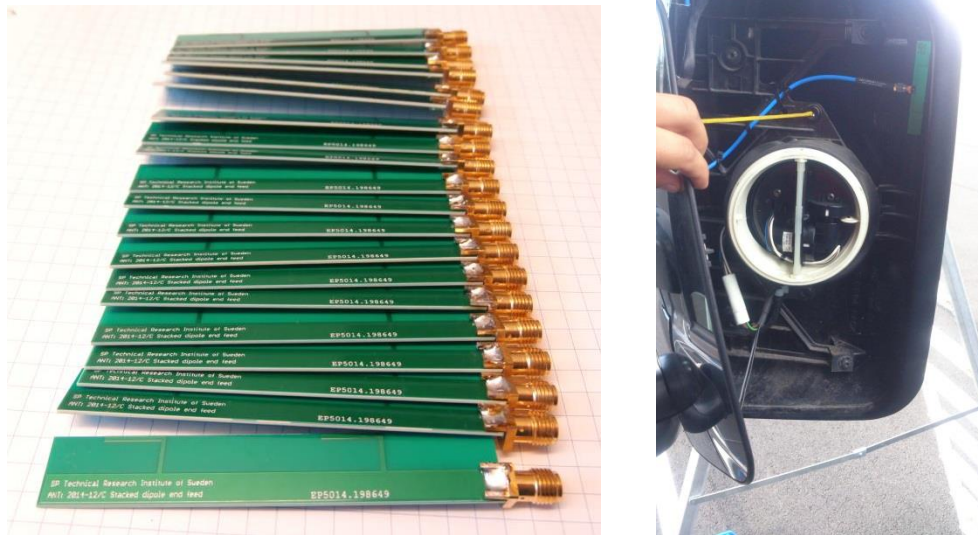
Parallellt med ovanstående har prestandamått och mätmetoder utvecklats för att kunna bedöma tillförlitligheten i ETSI ITS-G5 baserad trådlös kommunikation. För att utföra mätningarna har specialapplikationer för mätning av strålningsdiagram på hela lastbilar tagits fram (figur 3) samt testprogramvara för både SISO (Single Input Single Output) och MIMO (Multiple Input Multiple Output) radionoder. De senare togs fram av Kapsch baserat på specifikationer framtagna i RelCommH i samarbete med FFI-projektet WCAE.

I slutet av projektet demonstrerades fordonståg med kommunikationsprotokoll enligt ETSI ITS-G5 samt enligt ett av projektet förbättrat protokoll. Demonstrationen hölls på AstaZero och visade hur standardlösningen (ETSI ITS-G5) ibland resulterade i (simulerad) kollision vid hård inbromsning då avstånden var korta mellan fordonen och ledarfordonet i fordonståget. Men med förbättrat kommunikationsprotokoll för informationsdelning bromsade även de efterföljande fordonen kontrollerat och stannade på ett säkert avstånd.

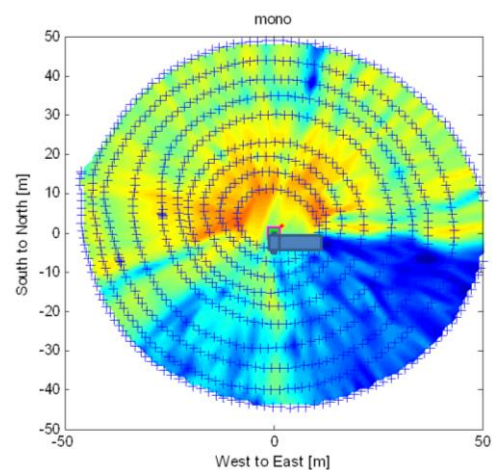
I projektet har det också skapats ett ramverk för att kunna specificera och analysera komplexa scenarier för fordonståg.

Dessutom har det teoretiska begreppet data age definierats och även använts för att utvärdera mätdata och algoritmer. Befintliga algoritmer har evaluerats och nya har tagits fram (för att öka tillförlitligheten och minska data age) med hjälp av simuleringar baserade på både teoretiska radiokanaler såväl som på data uppmätta på verkliga fordonståg.

Sammantaget har alla dessa aktiviteter bidragit till att öka tillförlitligheten i ITS-G5 kommunikationen.



Figur 2. Exempel på framtagna antenner (vänster) och antenn integrerad i backspegel (höger).



Figur 3. Lastbil under mätning av strålningsdiagram (vänster) och resulterande strålningsdiagram (höger).

## 5.1 Bidrag till FFI-mål

Klimat och miljö är centrala begrepp för framtida vägtransporter. Idag pågår forskning inom en rad områden för att minska sådan påverkan, där fordonståg med lastbilar är ett av sätten som kan minska bränsleförbrukningen för tunga transporter med upp till 20 %. I RelCommH har vi studerat fordonståg med fokus på radiokommunikation och informationsdelning som bägge är viktiga komponenter för att möjliggöra säkra och energieffektiva fordonståg. I projektet har mätmetoder, hårdvara samt metoder för att öka tillförlitligheten hos kommunikationen utvecklats, och resultaten kan i sin tur användas för att säkert minska avstånden mellan fordonen i fordonstågen. Motsatsen (låg tillförlitlighet) medför antingen längre avstånd (och därmed reducerad bränslebesparing) alternativt fordonståg med korta avstånd mellan fordonen som då inte är säkra med risk för både materiella såväl som personella skador som följd.

Jämfört med en ACC (adaptiv farthållare som enbart använder sig av lokala sensorer, t.ex. radar) tjänar ett fordon med kommunikation till andra fordon minst en sekund i reaktionstid genom att ta emot ett bromsmeddelande trådlöst när fordonet framför har tagit beslutet att bromsa. Information från fordon längre fram i fordonståget tas också emot över den trådlösa länken och detta är information som en ACC inte kan leverera. En kooperativ fordonstågsapplikation rymmer ett antal olika meddelanden som rör fordonsdynamik och händelser. Genom att tänka sig en reglerloop och det enkla exemplet med ett bromsmeddelande inser man både fördelarna med samt vikten av tillförlitlig trådlös kommunikation för fordonståg.

Mer konkret har projektet bidragit till:

- Metoder för att mäta och utvärdera tillförlitligheten i ITS-G5 kommunikationen mellan tunga fordon.
- Metoder för att förbättra tillförlitligheten i ITS-G5 kommunikationen mellan tunga fordon.
- Utveckling och evaluering av produkter för ökad tillförlitlighet i ITS-G5 kommunikation mellan tunga fordon.
- Informationsdelningskoncept för applikationen fordonståg för tunga fordon, vilket bildar underlag till framtida standardiseringsarbete på fordonståg. Projektdeltagarna får härigenom bra påverkan för att möjliggöra fordonståg inom standarden.
- Volvo och Scania har fått en konkurrensfördel genom att tidigt studera och inse vikten av sändar- och mottagardiversitet för fordonskommunikation.
- I förlängningen av projektet möjliggör fordonståg kostnadseffektivare och miljövänligare transporter.
- Projektet har förflyttat TRL-nivån för fordonståg från TRL4 till TRL5.
- Systematisk analys av komplexa automatiserade fordonståg.



## 6. Spridning och publicering

### 6.1 Kunskaps- och resultatspridning

Kunskaper om de mätmetoder som tagits fram har adopterats av företagen och redan använts i andra in-house projekt. Projektet har även kommit fram till lämpliga antennpositioner för tunga fordon och ITS-G5 kommunikation och dessa används nu av de deltagande OEM:erna. Dessutom har den specifika nyttan med både sändar- och mottagardiversitet för tunga fordon i kombination med ITS-G5 kommunikation demonstrerats i projektet. Inom alla dessa områden (mätmetoder, antennplacering, antenntyp, diversitet) har projektet redan fått genomslag.

ETSI har nyligen öppnat ett *work item* för platooning och en av projektets rapporter (som godkänts publik av projektdeltagarna) blir ett bra bidrag till denna *sub work group*. Projektdeltagare från Kapsch och Volvo AB sitter med i denna grupp och kan förmedla kunskapen.

Projektet anordnade en tvådagarsaktivitet för forskare och andra aktiva inom området på AstaZero den 22-23 Oktober hösten 2014. Första dagen bestod av projektpresentationer ifrån RelCommH samt en demonstration på AstaZero:s landsvägsslinga. Den andra dagen presenterades forskningsprojekt relaterade till fordonskommunikation. De inbjudna projekten var förutom RelCommH: EMCCOM, Chase V2X, WCAE, Companion och ACDC. Presentationerna efterföljdes av diskussioner. Den första dagen besöktes av ca 60 personer och den andra av ca 35 och arrangemanget fick många positiva omdömen. Se appendix A och B. Därutöver har projektet presenterats på ”Elektronik i fordon” konferensen samt på FFI:s programkonferens den 6 november 2014.

### 6.2 Publikationer

Av de möjliga publikationer som pekades ut före projektstart har publikationer gjorts inom samtliga områden. RelCommH kommer att ha publicerat minst tio konferensbidrag:

1. K. Karlsson, J. Carlsson, M. Olbäck, T. Vukusic, R. Whiton, S. Wickstrom, G. Ledfelt, J. Rogö, "Utilizing two-ray interference in vehicle-to-vehicle communications," *Antennas and Propagation (EuCAP), 2014 8th European Conference on*, vol., no., pp.2544,2547, 6-11 April 2014
2. C. Bergenheim, E. Coelingh, R. Johansson, "Measurements on V2V Communication Quality in a Vehicle Platooning Application," *7th International Workshop on Multiple Access Communications (MACOM)*, 27-28 August 2014, Halmstad, Sweden
3. C. Bergenheim, A. Soltani Tehrani, E. Coelingh, R. Johansson, "V2V communication quality: measurements in a co-operative automotive platooning application," *SAE 2014 World Congress*, Detroit, MI, USA, Apr. 8-10, 2014, 2014-01-0302.

4. K. Karlsson, J. Carlsson, T. Andersson, M. Olbäck, L. Strandberg, M. Hellgren, "Distance Dependent Radiation Patterns in Vehicle-to-Vehicle Communications," SP Report 2015:07, ISBN 978-91-88001-36-8, ISSN 0284-5172, Borås 2013-12-15.
5. K. Karlsson, M. Larsson, S. Wickström, G. Ledfelt, M. Olbäck, R. Whiton and J. Rogö, "On the Effect of Vertical Spatial Diversity on V2V Communication for Three Different Platooning Scenarios," *Accepted for presentation at Antennas and Propagation (EuCAP), 9th European Conference on*, Lisbon, Portugal, 12-17 April, 2015.
6. M. Larsson, M. Jonsson, K. Karlsson, C. Bergenhem and T. Larsson, "Curvature based Antenna Selection Method Evaluated Using the Data Age Metric and V2V Measurements," *Accepted for publication at IEEE ICC 2015 - Workshop on Dependable Vehicular Communications (DVC)*, London, England, 8-12 June, 2015.

Publikationer ännu ej insända:

7. Channel measurements of road trains for transmit and receive diversity.
8. A Framework for Complex Scenarios for Vehicle Platoons
9. Concepts for multi-hop algorithms.
10. ITS Information sharing concept for Platooning and CACC.

## 7. Slutsatser och fortsatt forskning

Projektet har kommit fram till flera lämpliga antenner och antennplaceringar. En patentansökan har dessutom tagits fram inom området antenner, vilket var ett oväntat men positivt projektresultat.

Projektet har undersökt vikten av diversitet för fordonståg med tunga fordon. Detta har resulterat i kunskap om att diversitet i detta fall är en nödvändighet för pålitlig kommunikation.

Olika multi-hop strategier har testats och verifierats. Befintliga multi-hop strategier är utvärderade på mätdata från verkliga fordonståg och nya multi-hop algoritmer har tagits fram.

Bland projektdeltagarna har det hela tiden varit en positiv och konstruktiv anda och kontakter för framtida samarbeten har knutits. Ett fortsättningsprojekt (RelCommH2) har planerats men på grund av företagsinterna resursfrågor skjutits på framtiden. Kontakt skall återupptas under Q3 2015.

För fordonståg behövs fortsatt forskning inom flera områden. T.ex:

- Ekosystem för fordonståg, händelser som att skapa, lösa-upp, handskakning m.m. måste undersökas och definieras.
- Säkerhet (kryptering, autentisering).

- Functional safety i kooperativa applikationer.
- Certifiering.
- Informationsdelning, standardisering, protokoll och multi-hop algoritmer.
- Mätmetoder.

## 8. Deltagande parter och kontaktpersoner

Deltagande parter	Kontaktperson	E-post	Telefon
SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut AB	Kristian Karlsson	kristian.karlsson@sp.se	0730-925658
Scania	Samuel Wickström	samuel.wickstrom@scania.com	08-55351010
Volvo Technology Corporation	Magnus Olbäck	magnus.olback@volvo.com	031-3233564
Kapsch TrafficCom AB	Håkan Johansson	hakan.johansson@kapsch.net	0703-791252
Qamcom Research & Technology AB	Carl Bergenhem	carl.bergenhem@qamcom.se	031-3819021



**SCANIA**

**VOLVO**

**kapsch** >>>



**qamcom**



# FFI

FORDONSSTRATEGISK  
FORSKNING OCH INNOVATION

Adress: FFI/VINNOVA, 101 58 STOCKHOLM  
Besöksadress: VINNOVA, Mäster Samuelsgatan 56, 101 58 STOCKHOLM  
Telefon: 08 - 473 30 00

# Lastbilståg sparar mycket bränsle

**Ett fordonsprojekt som avslutades på testanläggningen AstaZero i Borås har studerat möjligheterna med så kallade intelligenta transportsystem, där fordon kommunicerar med varandra.**

**FORDON** Projektet har kommit fram till lösningar som förbättrar informationsöverföringen mellan lastbilar och därmed kan göra transporter både säkrare och effektivare.

– Upp till 20 procent av bränsleförbrukningen hos tunga fordon kan sparas med hjälp av samverkande intelligenta transportsystem som nyttjar ny kommunikationsteknik baserad på trådlös kommunikation, säger Kristian Karlsson, forskare på SP.

I projektet RelCommH (Reliable Communication for Heavy vehicles) har tekniken använts för att köra tunga fordon i tågformation med ner till tio meters avstånd mellan bilarna. Detta förutsätter att en robust trådlös kommunikationslänk kan upprättas mellan fordonen, vilket har studerats och demonstrerats i projektet.

FOTO NIKLAS ARABÄCK, SP



Mycket bränsle kan sparas med hjälp av ny kommunikationsteknik

Resultat från projektet kommer att bidra i framtida standardisering av fordonståg.

RelCommH har finansierats av Vinnova i FFI-programmet fordonsutveckling. Deltagare var SP, Volvokoncernen, Scania, Kapsch Traffic-Com samt Qamcom Research & Technology.

**kontakt** [kristian.karlsson@sp.se](mailto:kristian.karlsson@sp.se)



## Presentations and demonstration of RelCommH project

Wednesday, October 22

- 9.30 Registration and coffee
- 10.00 AstaZero information, Mikael Blomqvist, AstaZero
- 10.10 RelCommH presentations
  - 10.10 *RelCommH overview*  
Kristian Karlsson, SP Technical Research Institute of Sweden
  - 10.20 *Project partner presentations*  
Scania, Volvo, Kapsch, Qamcom
- 11.00 *Field measurements and antenna development*  
Kristian Karlsson, SP Technical Research Institute of Sweden
- 11.30 Coffee break
  - 11.50 *Complex scenarios and system architecture*  
Lars Strandén, SP Technical Research Institute of Sweden
  - 12.10 *Information sharing concept for platooning applications*  
Carl Bergenhem, Qamcom
  - 12.30 *Data age concept - simulations and measurements*  
Marcus Larsson, Qamcom
  - 12.45 *Introduction to the demonstration*  
Samuel Wickström, Scania and Magnus Olbäck, Volvo
- 13:00 Lunch, demonstration and mini exhibition
- 17.00 Closing

Welcome!

RelCommH project team





October 22-23, 2014  
AstaZero, Sweden

## Workshop on Swedish & EU V2X project interactions

Thursday, October 23

9.30 Registration and coffee

10.00 Project presentations

10.00 *EMCCOM*

Björn Bergqvist, Volvo Cars

10.30 *Chase V2X*

Erik Ström, Chalmers

11.00 Coffee break

11.30 *WCAE*

Mikael Nilsson, Volvo Cars

12.00 *Companion*

Henrik Pettersson, Scania

12.30 Lunch

13.30 Project presentations cont.

13.30 *ACDC*

Annette Böhm, Högskolan i Halmstad

14.00 *RelCommH*

Kristian Karlsson, SP Technical Research Institute of Sweden

14.15 Conclusions and discussions

15.00 Closing

Welcome!

RelCommH project team

