

# ToMM2 - Framtida samarbete mellan människa och robot



Författare: [Sten Grahn](#)  
Datum: [2018-10-30](#)  
Projekt inom [FFI - Hållbar produktion - 2015-06-12](#)

**FFI** Fordonsstrategisk  
Forskning och  
Innovation

 VIRNOVA

 Energisystemhuset

 TRAFIKVERKET

 FAG

 SINTEC



 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>4</b>
<b>4 Syfte, forskningsfrågor och metod .....</b>	<b>4</b>
<b>5 Mål .....</b>	<b>5</b>
<b>6 Resultat och måluppfyllelse .....</b>	<b>5</b>
<b>7 Spridning och publicering .....</b>	<b>6</b>
7.1 Kunskaps- och resultatspridning .....	6
7.2 Publikationer.....	6
<b>8 Slutsatser och fortsatt forskning .....</b>	<b>7</b>
<b>9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....</b>	<b>7</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.

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

# 1 Sammanfattning

Projektet har genomfört demonstratorbaserad forskning, i nära samarbete mellan alla projektparter, för att studera hur man säkrar en samverkanslösning bestående av en operatör och en stor robot. Applikationerna fokuserar på montering där operatör och robot delar samma arbetsyta och manipulerar samma komponenter. De valda monteringsoperationerna upplevs för närvarande som krävande att automatisera på ett lönsamt sätt, exempelvis monteringsmoment som kräver inpassningar eller där komponenterna är mjuka eller böjbara. En identifierad viktig aspekt under utvecklandet av demonstratorerna är behovet av säkerhetslösningar för ett samverkande system. En "enabling device", som används för att köra roboten i passivt läge, har utvecklats som en integrerad del av säkerhetssystemet. Inledningsvis planerades studier av samverkanslösningar för tre monteringsoperationer, där två av dessa togs vidare till fysiska demonstratorer. Den ena med fokus på stationär montering av tung komponent och den andra med fokus på under-upp montering av böjbar komponent på rörlig monteringslina. Projektet har genererat ett betydande industriellt intresse och den senare installationen omfattade en samverkanslösning med full produktionsstandard vilken var möjlig att realisera genom stora bidrag från de ursprungliga industriella deltagarna, men även från två företag med säkerhet- och sensorkompetens, som inte var inblandade i projektet inledningsvis. Resultaten har stimulerat flera kompletterande forskningsprojekt. Resultaten har nått en industriell och akademisk publik genom två industriella shower, akademiska artiklar och artiklar i automationsmedia och antas ha bidragit till att kommersiella tillämpningar av samverkanslösningar som involverar stora robotar kommit närmare realisering.

## 2 Executive summary in English

The project has conducted demonstrator-based research to study how to ensure a collaborative solution consisting of an operator and a large robot. The purpose has been to identify practical, especially security-related challenges when designing, installing and running a collaborative cell with a large robot by asking the question: how can an assembly cell involving an operator and a large robot in close collaboration, practically be designed, installed and run safely. The method has been a case study method, where two demonstrator cells were built, one more conceptual for stationary assembly, focusing on how an enabling device could be designed, and one as close to manufacturing standard as possible, intended for continuous production lines. The applications focus on assembly where operator and robot share the same work area and manipulate the same components. The project goal was to ensure:

- Two physical demonstrator cells for human-robot collaboration, where different assembly tasks in the automotive industry can be tested and demonstrated, including safety aspects and human-robot cooperation solutions.
- Industrial evaluation of selected assembly tasks for the physical demonstrator cell, i.e. how technology can be implemented in industry
- Contribution to a conceptual model for analyzing a business model for implementation of collaborative solutions involving large robots in industry.
- Identification of challenges and possible solutions for co-operation for continuous production and at stop / go stations.

One identified important aspect of the development of demonstrators is the need for security solutions for a collaborative system. An enabling device, used to operate the robot in passive mode, has been developed as an integral part of the security system. One physical installation has focused on stationary assembly of heavy components and the other has focused on assembly of flexible components on a continuously moving production line. One important insight is that one should not talk about "collaborative robots", but only about "robots in collaborative settings", that is, the *application* is crucial to analyze, regardless of the type of

robot used for the application. The project has generated significant industrial interest, and the latter installation included a collaborative solution with full production standards, which was possible to realize through large contributions from the original industrial participants, but also from two companies with security and sensor skills, which were not initially involved in the project. The results have stimulated several complementary research projects and have reached an industrial and academic audience through two industrial shows, academic articles and articles in automation media, and are believed to have helped commercial applications of collaborative solutions involving large robots come closer to realization.

### 3 Bakgrund

Svenska fordonstillverkare konkurrerar på en global arena, både med sina produkter och sin tillverkningsförmåga. Tillverkningsprocessen, i synnerhet de monteringsrelaterade processerna, måste hantera en mängd olika fordon i de svenska fabriker och samtidigt anpassade till att leverera till olika marknader. Ett sätt att hantera många varianter är att producera flera modeller i samma monteringslina (MMA – Mixed Model Assembly) (Lee och Vairaktarakis, 1997; Wenping och Yuming, 2008; Emde et al, 2010), vilket svensk bilindustri använder sig av. Marknaden efterfrågar ständigt mer kundanpassade produkter och produkter med fler komponenter. Detta skapar en ökande efterfrågan på tex ökad monteringsflexibilitet, materiallogistik, delgeometri och taktid. På grund av de ökade flexibilitetskraven kan man se fördelar med produktionslösningar där operatörer styr eller samarbetar med robotar istället för att använda sig av fullständig automation (Bley et al, 2004).

Automationsteknik har möjliggjort för tillverkningsföretag att förbli konkurrenskraftig på världsmarknaden vilket också är en ökande trend både genom automationsteknikens mognad och den åldrande befolkningen. Många monteringsuppgifter, särskilt inom bilindustrin, involverar tunga eller repetitiva lyft inom ramen för en given taktid. Idag använder operatörer vanligtvis manuell lyftutrustning för sådana lyft, vilket kan innebära relativt lång cykeltid och ställa krav på dedikerad lyftutrustning om antalet varianter ökar. Ett sätt att hantera detta är att definiera "hard points" (Diffner et al, 2011) som styr t ex gripytor mm för montering. Dessutom kompenserar sådan manuell lyftutrustning inte för tröghetskrafter, vilket kan leda till arbetsrelaterade skador även när små misstag görs, såsom smärta i ryggen eller ryggradssjukdomar (Zaeh, M.F. & Prash, M., 2007). Dedikerad automatisering har samtidigt ofta visat sig ha låg lönsamhet, när nya produkter ska introduceras med hög frekvens i en produktionslinje. De ständigt ökande kraven på både högre automationsgrad och ökad produktionsflexibilitet, tillsammans med teknisk utveckling inom områden som säkerhetslösningar, maskin interface, etc, har gjort det möjligt för operatörer och robotar att direkt samarbeta, utan åtskiljande skyddsstaket. En möjliggörare för att skapa ett säkert samverkande system mellan operatör och robot lanserades via ISO/TS15066. Tidiga samverkande system har framförallt involverat mindre robotar, medan detta projekt har varit avsett att studera möjliga samverkanslösningar involverande större robotar, dvs sådana som kan hantera så stora komponenter som annars skulle kräva lyftverktyg alternativt robotar med lång räckvidd. Den identifierade potentialen till ökad produktivitet med bibehållen eller ökad flexibilitet med hjälp av samverkanslösningar involverande stora robotar, och kunskapsluckorna kring hur sådana installationer praktiskt kan designas och köras säkert, ligger till grund för projektet.

### 4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Syftet har varit att identifiera praktiska, speciellt säkerhetsrelaterade, utmaningar när man designar, installerar och kör en samarbetscell med en stor robot, genom att just ställa frågan: hur kan en monteringscell involverande en operatör och en stor robot i nära samverkan, praktisk designas, installeras och köras på ett säkert sätt. Metoden har varit en fallstudiemetod där det i nära samråd med industriella säkerhetsexperter byggts två demonstratorceller, en mer konceptuell för en stationär montering med fokus på hur en "enabling device" kunde utformas

och en så nära tillverkningsstandard som möjligt för rörlig lina, med stöd av existerande litteratur inom robotsäkerhet och samverkande robotlösningar, där exempelvis Tan et al. (2009) identifierade 5 olika metoder för hur man löser säkerheten i en produktionscell med människa-robot i samverkan, (1) Dela cellområdet i ett mänskligt område och ett robotområde, (2) Utforma cellen baserat på olika säkerhetszoner för roboten, (3) Begränsa arbetsområdet för roboten och begränsa hastigheten, (4) Använd ett visionssystem för övervakning av mänsklig rörelse, och (5) säkerställ ett system för funktionssäkerhetskontroll.

## 5 Mål

Projektmålet var att säkerställa följande leveranser:

- Två fysiska demonstratorceller för människa-robot i samarbete, där olika monteringsuppgifter inom fordonsindustrin kan testas och demonstreras, inklusive säkerhetsaspekter / lösningar för människa-robot i samarbete
- Industriell utvärdering av valda monteringsuppgifter i den fysiska demonstratorcellen, d.v.s. hur tekniken kan genomföras inom industrin
- Bidrag till en konceptuell modell för hur man analyserar en affärssituation för implementering av samverkanslösningar involverande stora robotar inom industrin
- Identifiering av kravställningar för samarbete mellan människor och robotar, särskilt vid samverkan med stora robotar
- Identifiering av utmaningar och möjliga lösningar för samarbeten för arbete med kontinuerlig produktion eller vid stopp / gå stationer
- En uppdaterad state-of-the-art och trendanalys av området
- En licentiatuppsats i början av projektet och publikationer för en senare doktorsavhandling
- Minst två studentprojekt och / eller masterprojekt.

## 6 Resultat och måluppfyllelse

I stort har målen uppfyllts och flera viktiga fynd har varit möjliga att rapportera till industrin och akademien i två "industriella shower" (2017-02-15 och 2018-09-06) där den andra showen demonstrerade en installation med full industriell produktionsstandard. Projektet har genererat insikter om fysisk cobotcell design och -installation, säkerhetsbedömningar och krav på effektiva "enabling devices", för styrning av roboten då den är i passivt läge. Projektet har också genererat insikter om att det behövs en organisatorisk medvetenhet inom monteringsindustrin kring samarbetsinstallationer som möjliga produktiva lösningar på industriella monteringsutmaningar, om samarbetsinstallationer med stora robotar ska kunna utvärderas och installeras effektivt. Projektet har kunnat presentera resultaten och insikterna vid internationella konferenser och därigenom öka storleken på den grupp (både ingenjörer, operatörer, chefer och akademiker) inom fordonsindustrin som har förmåga att implementera och använda denna nya teknik. Detta kommer sannolikt att bidra till en ökad installationshastighet för produktiva samarbetsinstallationer involverande stora robotar inom fordonsindustrin.

Genomförandet av projektet har inneburit betydande utmaningar på flera olika sätt. Det har t.ex. konstaterats att man inte bör prata om "samverkande robotar", utan bara om "robotar i samverkansapplikationer", dvs det är *applikationen* som är avgörande, oavsett vilken typ av robot som används för applikationen. Det har också konstaterats att installation av stora robotar i samverkansinstallationer kräver en betydande resursinsats, mer än förväntat vid projektstarten. Det fanns flera olika anledningar till det. Dels pga att programmeringsarbetet blev mer krävande än planerat, dels pga att designen av en samverkansinstallation med en stor robot innebär, resurskrävande, hantering av ett flertal parametrar som celldesign, komponentlogistik och kommunikationslösningar. Säkerhetshandlingen visade sig också vara ännu mer omfattande än vad som antogs initialt.

Trendanalysen och en state-of-the art har inneburit en betydande utmaning då forskningsfältet har utvecklats mycket snabbt sedan projektets start. Projektet har dock bidragit med viktig input till en roadmap för utveckling av samverkande robotlösningar.

Trots utmaningarna måste projektet betraktas som framgångsrikt då t.ex. den andra industrishowen visade en installation med full industriell produktionsstandard. Detta lyckades åstadkommas med stora insatser av deltagande industriföretag, men även genom att två ytterligare företag som inte var med vid projektstarten bidrog med betydande resurser.

## 7 Spridning och publicering

### 7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	x	Projektet har givit flera viktiga insikter som kunnat spridas till en större krets via konferensbidrag, journalartiklar, industriella demonstrationer och annan typ av dokumentation som tex industriella rapporter.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	x	Projektet har givit input till ett flertal andra projekt kring robotsäkerhet, forskning kring "enabling devices" och hur produktionsvärde från automation säkerställs
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt		Projektet har framförallt fokuserat på produktionslösningar men det är rimligt att anta att insikterna kan bidra till exempelvis nya framtida säkerhets- och kommunikationslösningar
Introduceras på marknaden	x	Ett flertal uppföljningsprojekt, där några har högre TLR-nivå, antas göra att samverkanslösningar involverande stora robotar är märkbart närmare kommersiell introduktion.
Användas i utredningar/regelverk/ tillståndsärenden/ politiska beslut	x	Insikterna kring säkerhetsutmaningar har kunnat spridas direkt till aktörer involverade i utveckling samverkansstandarder, vilka följt projektets utveckling

### 7.2 Publikationer

*Potential Advantages Using Large Anthropomorphic Robots in Human-robot Collaborative, Hand Guided Assembly.* Proc. 6th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems (CATS) Volume 44, 2016, Grahn S., Langbeck B., Johansen K. and Backman B., Pp 281–286

*Benefits of Collaborative Robots in Assembly - An Evaluation Scheme,* The 6th International Swedish Production Symposium, Sep. 2014 (Grahn, S., Langbeck, B.)

*Safety-Focussed Design of Collaborative Assembly Station with Large Industrial Robots,* Varun Gopinath, Fredrik Ore, Sten Grahn and Kerstin Johansen (2018); Procedia Manufacturing; 25; 503 - 510; Elsevier B.V.

*Collaborative Assembly on a Continuously Moving Line -- An Automotive Case Study*, Varun Gopinath, Kerstin Johansen, Åke Gustafsson and Stefan Axelsson (2018); Collaborative Assembly on a Continuously Moving Line -- An Automotive Case Study; 28th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2018), June 11-14, 2018, Columbus, OH, USA

*Design Criteria for a Conceptual End-effector for Physical Human-Robot Production Cell*, Varun Gopinath and Kerstin Johansen, Åke Gustafsson (2014); In Swedish Production Symposium, 2014.

*Risk Assessment for Collaborative Operation: A Case Study on Hand-Guided Industrial Robots*, Varun Gopinath, Kerstin Johansen and Johan Ölvander (2018); Risk Assessment for Collaborative Operation: A Case Study on Hand-Guided Industrial Robots; Risk Assessment, Chapter 09; 167 - 187; Intech Publishers

*Human – industrial robot collaboration: simulation, visualisation and optimisation of future assembly workstations* Fredrik Ore, Licentiat thesis, 2015-09-08

## 8 Slutsatser och fortsatt forskning

Ett flertal viktiga insikter har gjorts i projektet, varav en central är att det är möjligt att praktiskt installera och köra samverkansinstallationer involverande stora robotar på ett säkert sätt.

Projektinsikterna indikerar dock att för att säkerställa en hög introduktionstakt av kommersiellt produktiva installationer krävs vidare studier på ett antal olika områden, exempelvis:

-Kring hur robotar kan styras effektivt då dessa är i passivt läge, med exempelvis avancerande "enabling devices".

-Vidare utveckling av modeller som underlättar en organisatorisk insikt kring möjligheten att använda samverkanslösningar för monteringsutmaningar, och underlättar möjligheten att utvärdera sådana lösningar i jämförelse med andra produktionslösningar. I sådana modeller bör det ingå en analys över hur möjligheterna att genomföra fullständig automation på ett lönsamt sätt, ständigt ökar med den tekniska utvecklingen

-Utveckling av effektiva modeller för säkerhetsanalys är också ett centralt område fortsatta studier.

Utveckling av mer avancerade säkerhetsmodeller är pågående medan andra projekt är under utveckling.

## 9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Swerea IVF AB	Sten Grahn
Linköpings Universitet	Kerstin Johansen
AB Volvo	Lena Moestam
Volvo Cars	Åke Gustafsson
Scania	Lars Oxelmark

De industriella parterna har bidragit med expertis och erfarenhet kring olika existerande manuell montering som är krävande men önskvärd att automatisera, såväl som med expertis och erfarenhet från praktiska automations- och säkerhetslösningar. De akademiska parterna har bidragit med kunskaper från forskningsfronten för automations och människa-maskin-samverkanslösningar. Parterna har samverkat i regelbundna workshops och arbetsmöten för att utveckla industriellt relevanta samverkanslösningar, och för att sprida kunskap kring dessa.