



FORDONSSTRATEGISK  
FORSKNING OCH INNOVATION

## StiRoLight – Robotiserad friktions- omrörningssvetsning för lättviktsdesign

---



Författare: Anna-Karin Christiansson, Högskolan Väst, 46186 TROLLHÄTTAN

Mars 2012

Delprogram Hållbar Produktionsteknik

## Innehåll

<b>1. Sammanfattning</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Bakgrund</b> .....	<b>4</b>
2.1. Korta projektfakta .....	5
2.2. Partners .....	5
<b>3. Syfte</b> .....	<b>5</b>
3.1. Vetenskapliga syften .....	5
3.2. Industriella syften.....	5
<b>4. Genomförande</b> .....	<b>6</b>
4.1. Forskningsorganisation .....	6
4.2. Projektorganisation .....	6
4.3. Metod .....	6
4.4. Demonstratorer.....	7
<b>5. Resultat</b> .....	<b>8</b>
5.1. FFI-mål .....	8
5.2. Övriga mål .....	9
<b>6. Spridning och publicering</b> .....	<b>9</b>
6.1. Kunskaps- och resultatspridning .....	9
6.2. Listning av större Workshops .....	9
6.3. Vetenskapliga resultat .....	10
6.4. Industriella resultat.....	13
<b>7. Slutsatser och fortsatt forskning</b> .....	<b>13</b>
<b>8. Deltagande parter och kontaktpersoner</b> .....	<b>14</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

StiRoLight-projektet har identifierat och löst forskningsfrågor som rör robotisering av friktionsomrörningssvetsning (Friction Stir Welding, FSW) och som är relevanta för svensk fordonsindustri. Drivkrafterna har framför allt varit två: dels passar FSW utmärkt för att foga lättviktsmaterial som aluminium, och dels är kunskap och erfarenheter av robotisering stor i fordonsbranschen. Ett lättare fordon kräver mindre mängd bränsle och orsakar därmed mindre miljöförstöring. Vid FSW förs ett roterande verktyg mot foglinjen med viss kraft, varvid friktionsvärmens orsakar materialet att mjukna och materialen blandas ihop utan att smälta. FSW ger kontinuerliga fogar till skillnad mot gängse punkt-svetsning. Kontinuerliga fogar minskar behovet av tätningmoment och minskar därmed tid och kostnad i produktionen. En robot är synnerligen lämplig för fogning av bildetaljer, eftersom i stort sett alla fogar utförs längs krökta ytor. Vid FSW skall stora krafter anbringas på ett roterande verktyg, varför det tillgängliga robotsystemet är bestyckad med kraftsensor och kraftåterkoppling för att erhålla önskad kraft. När dessa skall utföras av en robot uppkommer speciella problem, som är relaterade till att robotens konstruktion är relativt vek. Denna vekhet orsakar banavvikelse från nominell robotbana, och avvikelsen varierar beroende på var i arbetsområdet kraften anbringas. Projektet har inköpt och installerat ett demonstratorsystem, ROSIO, där merparten av projektets försök utförts. Demonstratorn finns hos Högskolan Väst (HV) på Produktionstekniskt Centrum (PTC) i Trollhättan, och har använts vid ett stort antal demonstrationer inom projektet och för allmänheten.

Forskningsinsatserna har fokuserat på banavvikelsen och hur man automatiskt kan korrigera för den. Ett viktigt resultat för att kunna styra processen är därför den grundläggande förståelse som uppnåtts för hur avvikelsen beror av robotens kinematik och av kraftpåverkan i olika riktningar. Den temperaturhöjning som processen medför har också visats spela stor roll för fogens kvalitet. Blir materialet varmare kommer verktyget att sjunka djupare (med samma anbringade kraft) och därmed blir inte fogen nominell. Projektet har utöver aluminium också studerat FSW av nickelbaslegeringar, som kräver större krafter och mer noggrann parametertrimning för att kunna utföras med robot. Inledande försök har därför utförts på ESAB i Laxå, där det finns maskiner som kan utföra FSW med betydligt större krafter än vad demonstratorn på PTC klarar. Inledande försök med nickelbasfogning i demonstratorn har varit lyckosamma.

Projektorganisationen har varit effektiv med aktivt deltagande av samtliga parter varannan vecka för att undvika och undanröja uppkomna problem. Styrgruppen har följt utvecklingen och kunnat bevaka att de ställda forskningsfrågorna besvarades samt tagit upp nya frågeställningar. Det industriella intresset har varit stort och kunskapen om processen och dess begränsningar har väsentligt ökat både hos forskarna och industrin, och en gedigen grund har lagts för att införa denna miljövänliga process för produktion av lättare och därmed miljövänligare fordon. Projektet har rönt stort internationellt intresse och förvän-

tas kunna leda till att svensk fordonsindustri blir ledande inom denna nya produktionsteknik. För att i större omfattning kunna utnyttja fördelarna med robotiserad FSW-fogning i fordonsindustrin krävs nya konstruktionslösningar, och sådana har initialt studerats och tagits hänsyn till i projektet. Projektet har identifierat ett antal frågeställningar som återstår att lösa till fullt kommersiellt ”business case” för robotiserad FSW.

Projektet har presenterats vid ett antal konferenser, t.ex. det ledande FSW-symposiet och en vetenskaplig artikel med peer review-förfarande är accepterad för publicering. En licentiatuppsats färdigställs och skall offentligt presenteras och diskuteras senare under våren 2012.

Orsaken till det stora internationella intresset för projektet är att det idag bara finns några få försöksanläggningar för robotiserad FSW i världen, och ingen annan har lyckats lösa problemen med robotens vekhet. En trolig förklaring kan vara att det finns få forskargrupper som har kompetens i både process- och automationslösningar. När dessa vekhetsproblem har lösts förväntas robotiserad FSW medföra både kostnadsbesparingar och kvalitetshöjningar i fordonsindustrin. StiRoLight-projektet har gjort sitt bästa för att det skall kunna bli verklighet inom en överskådlig framtid genom att lösa en del problem och att identifiera återstående forskningsfrågor.

Parter: Saab Automobile (projektledare fram till konkurs), AB Volvo, ESAB Engineering AB, Högskolan Väst (projektledare efter konkurs), Lunds universitet (doktorandinskrivning) och Innovatum Teknikpark.

## 2. Bakgrund

Projektet har initierats av fordonsindustriella intressen av att använda av den lovande och relativa nya fogningstekniken friktionsomrörningssvetsning (FSW) för att foga lättviktskonstruktioner. Saab Automobile kom i kontakt med ESAB's robotiserade FSW-system och ville undersöka möjligheterna till införandet i sin produktion och vände sig till Högskolan Väst (HV) för stöd i att undersöka detta. Även AB Volvo har visat intresse och mer specifikt vill Volvo Aero undersöka om man kan använda FSW för fogning i fabrikation av flygmotordetaljer. I båda fallen förväntades en robotiserad lösning lovande för såväl åtkomst som att utföra 3-dimensionella fogar med hög kvalitet.

FSW-tekniken kräver att ett roterande verktyg anbringas mot en foglinje och genom friktionsvärme mjuknar materialet som blandas med hjälp av verktygets rotation. Teknikens två stora fördelar gentemot mer traditionell svetsning är dels att fogen blir kontinuerlig (till skillnad mot punktsvetsningen) och dels att materialet inte smälter (till skillnad mot smältsvetsning). En kontinuerlig fog medför att man slipper ifrån extra tättningsmoment och det faktum att materialet aldrig smälter innebär att man slipper den kvarstående deformation som uppkommer vid smältsvetsning. Man undviker dessutom de begränsningar som har att göra med smältsvetsningens beroende av tyngdkraftens påverkan på smälta droppar, eftersom kraften kan anbringas i princip i alla riktningar i robotens arbetsområde.

## 2.1. Korta projektfakta

Total budget	13.160.000 SEK
Projektperiod	2009-01-12 (beslut 2009-07-08) till 2011-12-31 (ändrat till 2012-03-31 beroende på det sena beslutet)
Bidrag från Vinnova	6.330.000 SEK (49% av total budget)
Vinnova Dnr	2009-00968
Projektledare	Tommy Christensen, Saab Automobile Ersatt av Anna-Karin Christiansson (HV) vid Saabs konkurs
Forskare	Jeroen De Backer, Gunnar Bolmsjö, Torbjörn Ilar, Anna-Karin Christiansson

## 2.2. Partners

Parterna representerar tre huvudintressen:

- Industriella slutanvändare: Saab Automobile (projektledare) och AB Volvo
- Industriella maskinleveratörer: ESAB Engineering AB och ABB, den senare endast som representant i styrgrupp
- Akademi och kunskapsspridning: Högskolan Väst (HV), Lunds universitet och Innovatum Teknikpark.

## 3. Syfte

Projektet har haft både vetenskapliga och industriella syften:

### 3.1. Vetenskapliga syften

De akademiska målen sattes vid projektstart till

- Finna lösningar på de kraft- och positionsproblem som är relaterade till robotens vekhet
- Skapa kunskap om begränsningar för industriella tillämpningar
- Examinera en teknologie licentiat

### 3.2. Industriella syften

De industriella målen sattes vid projektstart till

- Introducera FSW i fordonsindustrin
- Underlätta för framtagning av lättare fordon genom nya materialkombinationer och kontinuerliga fogar
- Sprida FSW-kunskap på väg mot industriellt mogen tillverkningsprocess

## 4. Genomförande

### 4.1. Forskningsorganisation

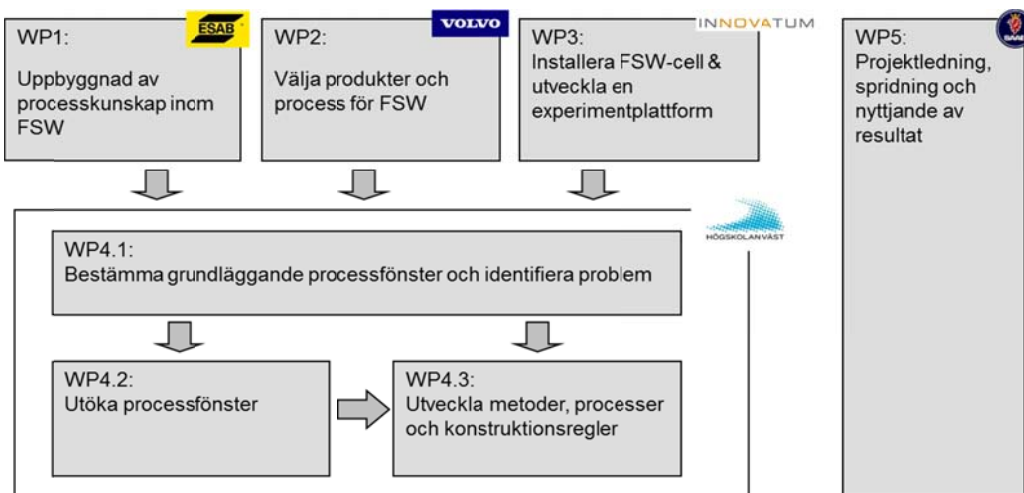
En doktorandtjänst utlystes, och bland åtta sökande antogs Jeroen De Backer som doktorand vid Lunds Universitet med Prof Gunnar Bolmsjö som huvudhandledare. Lokal handledare var initialt Dr Torbjörn Ilar och vid hans flytt till Luleå tekniska universitet tog Dr Anna-Karin Christiansson hans plats. Under det sista året har Prof Bolmsjö varit heltidsanställd som professor vid Högskolan Väst och har deltagit mer aktivt i projektet.

### 4.2. Projektorganisation

Projektet har letts på ett effektivt sätt av projektledaren Tommy Christensen, Saab Automobile AB, med projektmöten varannan vecka för teknologiöverföring och tekniska diskussioner med parterna. Vid Saabs konkurs i slutet av projektet tog HV över rollen som projektledare. En styrgrupp sammansatt av projektets parter och ABB leddes av Prof Lars Pejryd, Innovatum, och identifierade behov av att fortsätta ansträngningar i ett nytt projekt med utökat antal industripartners.

### 4.3. Metod

Projektet planerades och genomfördes i ett antal arbetspaket enligt Figur 1. Arbetsmöten varannan vecka har varit metoden för effektiv interaktion mellan arbetspaketen.

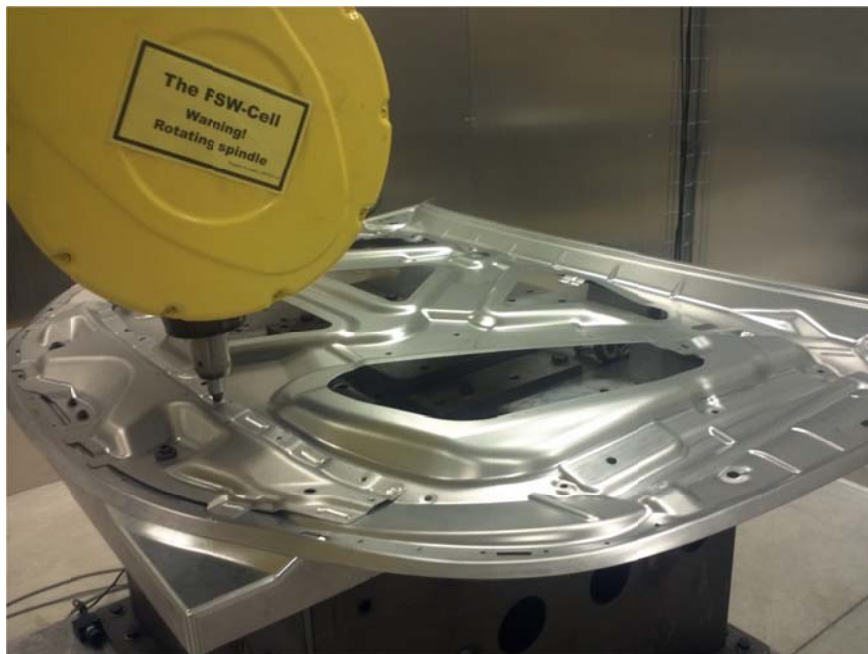


Figur 1. Översikt över projektets arbetspaket. Logotyp anger arbetspaketsansvar.

#### 4.4. Demonstratorer

Det beslutades tidigt i projektet att två olika demonstratorer skulle tas fram för att visa på de industriella möjligheterna med robotiserad FSW: en för bilplåtsfogning i aluminium och en för fabricering av flygmotordelar i nickelbaslegering.

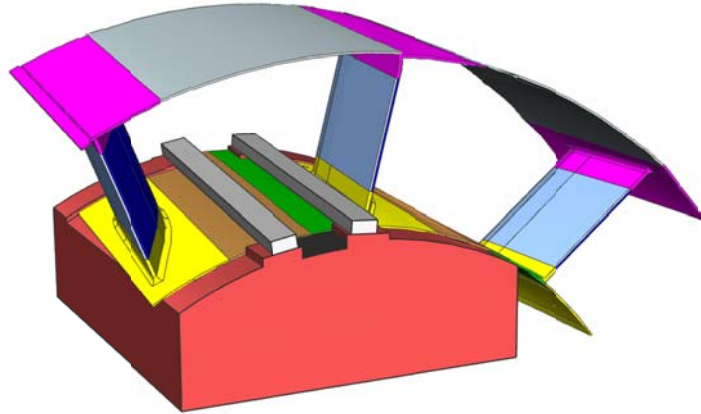
Den första demonstratorn byggdes i samverkan med Saab Automobile, se Figur 2. Motorhuvuven skulle invändigt förses med fyra förstövningar: en för krocksäkerhet, en för gasfjäders som håller huvuven öppen och två för gångjärnen. I dagens produktion nitas de fast, men man förväntar att såväl tidsåtgång som vikt skulle minska medan styrkan skulle öka med FSW i stället. Stora aluminiumblock frästes med en geometri som kopia på motorhuvsplåten och fungerade som mothåll under processen. Högkvalitativa FSW-fogar erhöles, och tids/kostandsvinst har utförts. Inom projektet har ett examensarbete utförts med förslag på vilka omkonstruktioner som bör göras på dessa förstövningar för att fullt ut utnyttja FSW-processens fördelar och därmed få ytterligare kostnadsbesparingar. Demonstratorn har visat på den stora betydelsen som en effektiv fixturering har på resultatet, vilket måste uppmärksammas vid införande i produktion.



**Figur 2. FSW-processen genomförd på Saab-demonstratorn.**

Den andra demonstratorn stöddes huvudsakligen av AB Volvo med avsikt att visa förmågan att svetsa höghållfasta 3D-strukturer med robotsystemet. Det är stumfogar i en flygmotordetalj i en nickelbaslegering som skall svetsas, och för detta krävs en stabil fixturering och ett betydligt hårdare verktyg än det som använts för aluminium. Fixturen togs i fram i slutskedet av projektet, och på grund av att det nya verktyget kom fellevererat har de skarpa försöken inte hunnit utföras. Inledande tester har i stället utförts i dessa material på ESAB i Laxå med god fogkvalitet, och med trimning av parametrar förväntas

de kunna ge goda resultat också med robotsystemet. En fixtur har designats för att kunna ge tillräckligt stöd mot underlaget och för att kunna ge åtkomst åt verktyget, se Figur 3.



Figur 3. Fixtur för demonstration av FSW i höghållfast material.

## 5. Resultat

Den utvecklade teknologin är av stor betydelse för all industri med inriktning mot lättviktskonstruktioner, inte enbart fordonsindustrin. Robotiseringen av FSW förväntas ta en allt större andel av fogningsuppgifterna i både små och stora serier.

Specifika leveranser framgår av nästa avsnitt.

### 5.1. FFI-mål

Projektet bidrar till FFI-målen på flera sätt:

- Möjliggör lättviktsdesign => lägre energiförbrukning genom ökad användning av lättviktsmaterial i fordon
- Bidrar till miljövänlig produktion (jämfört med traditionell svetsning) => inga tillsatsmaterial och nästan ingen kvarstående deformation
- Möjliggör användning av simuleringsbaserad produktion genom virtuella verktyg => färre praktiska försök (trial and error) och kortare tid i beredningsskedet
- Introducerar en ny produktionsmetod => förväntas ge ökad konkurrensfördel
- Höjer kunskapsnivån om en ny produktionsmetod => kunskapsbaserad produktion kan föresiggå i Sverige
- Gör konstruktörer medvetna om en ny produktionsmetod => omkonstruktioner förväntas ge bättre prestanda och därmed ökad konkurrensfördel
- Genomförande av industriella demonstratorer => löser industriellt relevanta problem och skapar intresse i branschen
- Demonstrator finns nu på PTC => möjliggör och stöder kommande forsknings- och utvecklingsprojekt i ett nationellt och internationellt perspektiv



## 5.2. Övriga mål

- En licentiatuppsats är skriven med projektresultat =>
- Två kandidatuppsatser är skrivna med vikt lagd på demonstratorerna => industriell direkt nytta, värdefull erfarenhet i studenternas produktionstekniska utbildning, god samverkan mellan högskolan och näringslivet
- Kunskaps-spridning genom olika information kanaler och deltagande i Svetskommissionens FSW-grupp => spridning till flera branscher, speciellt med aluminiumkomponenter

# 6. Spridning och publicering

## 6.1. Kunskaps- och resultatspridning

Demonstratorn på HV och den neutrala mötesarenan Innovatum teknikpark och PTC har varit en viktig faktor för att visa processens möjligheter för en vidare krets. Ett antal workshops har genomförts med svenska och internationella gäster, och ett antal regelbundna öppna seminarier har hållits på PTC. Alla har rönt stort intresse och fungerat som förändringspådrivare – speciellt har dessa identifierat flera nya forskningsfrågor kring den robotiserade lösningen men också kring material- och verktygsfrågor, som inte varit adresserade i projektet. Tillsammans skulle dessa frågor tillsammans med konstruktionsförändringar i industrin leda till ökad användning av lättviktsmaterial – inte bara i vägfordon. Inte minst SKB (Svensk Kärnbränslehantering) är angelägen om att höja FSW-kompetensen i landet.

## 6.2. Listning av större Workshops

**Våren 2009:** ett antal projektinterna workshops för att definiera demonstratorerna

**Dec 2010:** en 2-dagars workshop med deltagare från Tyskland (HZG), Belgien (Cenaero), Sverige (HV, Sandvik, Lunds universitet, AB Volvo, SAPA, ESAB, Innovatum). Workshopen hade fokus på konkreta FSW-tillämpningar i transportindustrin och på att presentera den senaste tekniken inom området.

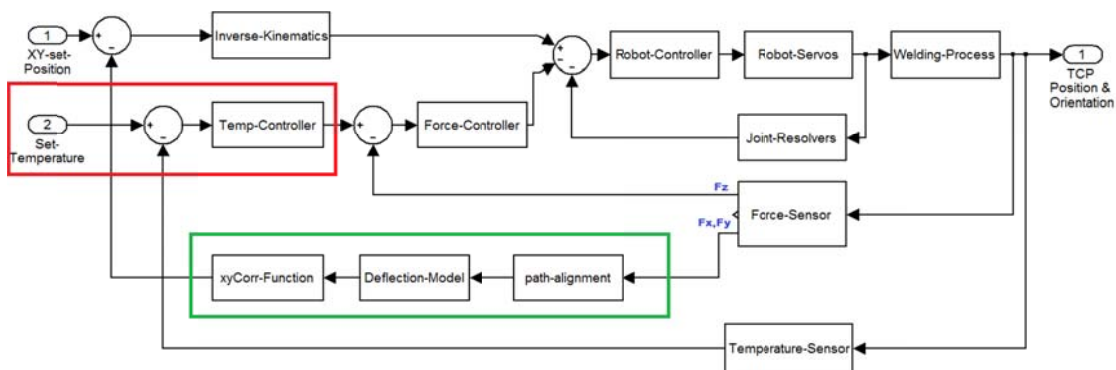
**Juni 2011:** Endagsseminarium med svenska deltagare (ABB, Sandvik, Volvo Cars, ESAB, Innovatum, Volvo Trucks, Volvo Aero, Swerea/Kimab, HV). Deltagarna var mycket intresserade av att fortsätta arbeta tillsammans och utveckla frågeställningarna till att också omfatta verktygs- och materialfrågor. En grupp valdes att verka för en förnyad projektansökan med högre teknologimognad inom robotiserad FSW som mål för svensk producerande industri.

## 6.3. Vetenskapliga resultat

Projektet har identifierat begränsningar hos robotsystemet för att utföra FSW, och en strategi har presenterats för att överbrygga flertalet av begränsningarna:

- Det har noterats att temperaturen i materialet höjs vid svetsning, och vid komplexa geometrier då foglinjerna kommer att passera nära varandra påverkar denna temperaturhöjning fogkvaliteten, eftersom verktyget då sjunker längre ner i det uppmjukade materialet. Detta beror på att samma kraft anbringas, eftersom processen är kraftstyrd. En yttre temperaturreglering föreslås som lösning.
- De stora processkrafterna orsakar att robotbanan avviker från nominell bana och därmed också verktygsbanan. Dessa banavvikelser har initialt visat sig ge defekt rotsida. Flera metoder har undersökts och det visar sig att man kan undvika banavvikelse utan att använda externa sensorer utan endast den information som kan utläsas ur den inbyggda kraftsensorn. Metoden är oberoende av robottyp och fungerar i hela robotens arbetsområde.
- I ett begränsat arbetsområde kring roboten kan man uppnå betydligt högre processkrafter än vad specifikationen anger – upp till tre gånger. Det innebär att man i det området kan uppnå tillräcklig neråtriktad kraft för att svetsa högtemperaturlegeringar, som exempelvis rostfritt stål.
- Spindelmotorn är inte tillräckligt kraftfull i nuvarande konfiguration för att svetsa högtemperaturlegeringar, men med en modifierad växellåda blir momentet tillräckligt för att klara dessa legeringar.

De mest betydande vetenskapliga resultaten som identifierats i StiRoLight-projektet kan illustreras i form av blockschemat i Figur 4. De grönt inramade funktionerna visar reglerfunktionen för att klara bankompensering. De med rött inramade funktionerna visar på vad som krävs för att temperaturkompensera vid komplexa geometrier. Om båda funktionerna implementeras åstadkoms helautomatiserad svetsning.



**Figur 4. Blockdiagram över robotiserad FSW som del av en helautomatisk produktion. De grönt och rött inramade funktionerna är utvidgningar för att erhålla ökad flexibilitet.**

De beskrivna arbetena har publicerats i olika sammanhang. Doktoranden Jeroen De Backer har deltagit i flera konferenser och presenterat projektet och dess framsteg. Några kommer att äga rum i närtid:

*“A local model for online path corrections in Friction Stir Welding”: Presented paper at the Friction Stir Welding & Processing Conference (FSWP 2010) in Lille, France, February 2010: – Appendix 1*

Detta papper skrevs i samverkan med Dr Mikael Soron (ESAB – förste författare) och beskrev en första ansats till bankompensering av robotiserad FSW. Man hade iakttagit robotens avvikelse mot nominell bana beroende på de höga processkrafterna. Papperet föreslår en modell som kan kompensera för denna avvikelse i ett begränsat arbetsområde. Modellen baseras på samband som uppmätts mellan uppmätta sidokrafter och avvikelser uppmätta i mikroskop i efterhand på svetsfogen. Mikael Soron, Jeroen De Backer (presentatör) och Torbjörn Ilar deltog i konferensen, och papperet rönste stort intresse.

*“Friction Stir Welding with Robot for Light Weight Vehicle Design”: Presented paper at the FSW symposium i Lübeck, Germany, May 2010 – Appendix 2*

FSW-symposiet genomförs vartannat år och anses vara den mest betydande FSW-konferensen med de viktigaste FSW-forskarna närvarande, inklusive Wayne Thomas, uppfinnaren och patentägaren av FSW-tekniken. Papperet presenterar StiRoLight-projektet och de milstolpar som skall lösas för att kunna införa robotiserad FSW i fordonsindustrin, speciellt med avseende på robotiseringen. Papperet valdes som en ”conference highlight” och presenterades som sådant av Mikael Soron. Jeroen De Backer och Anna-Karin Christiansson deltog också. Symposiet avslutades med studiebesök på HZG’s anläggning i Geestacht (Tyskland). HZG är en av de ledande forskningsorganisationerna inom FSW, och deras intresse i StiRoLight-projektet resulterade i att de deltog i den workshop vi anordnade senare under året och visade starkt intresse för fortsatt samverkan med HV och industriparterna.

*“Surface Quality and Strength in Robotic Friction Stir Welding of Thin Automotive Aluminium Alloys”: Presented paper at the Swedish Production Symposium - SPS11, May 2011: – Appendix 3*

Detta papper presenterades vid det svenska produktionssymposiet i Lund av Jeroen De Backer. Det behandlar svetskvalitet och visuellt utseende på fogar utförda i aluminiumplåt avsedd för fordon. Det beskriver processens robusthet genom att studera hur lite fogens draghållfasthet påverkas av varierande processparametrar. Utseendefrågan är viktig om fogarna skall appliceras på högklassade ”class-A”-utvändiga ytor på en bil. Den mättes med ytfinhetsmätning och ett resultat är att den befintliga fixtureringen och verktyget inte duger för dessa tillämpningar. Papperet föreslår en enkel metod för operatören att bedöma svetskvaliteten genom avsyning som alternativ till dyrbara förstörande provmetoder.

*Presented paper at the Aerospace Materials conference (Aeromat 2011) in Long Beach, USA, May 2011: “Investigation of Techniques for Online Path Compensation in Robotic Friction Stir Welding” – Appendix 4*

Aeromat-konferensen i Long Beach, USA, var främst ägnad åt nya material för flygindustrin, och en session var ”Welding and Joining Technologies and Methods”. Jeroen De Backer presenterade ett papper med två olika sätt att mäta banavvikelse och en strategi för att i realtid kompensera för den. Dessutom lyftes robotiseringens konsekvenser upp. Föredraget rönt stort intresse, t.ex. av Embraer, Brasiliens ledande flygplanstillverkare och framstående inom FSW med dedicerade maskiner. De visade starkt intresse för den flexibilitet som robotisering innebär.

*“Investigation of Path Compensation Methods for Robotic Friction Stir Welding”: Accepted for publication in Journal “Industrial Robot”: –APPENDIX 5*

Denna tidskriftsartikel sammanfattar allt arbete som gjorts på bankompensering sedan projektstarten. Artikeln visar på utvecklingen från en lokal modell över krafternas inverkan på verktygets position till en sensorbaserad bankompenseringsmetod i robotens totala arbetsområde, och visar på ökad förståelse för inverkan av processkrafterna i olika riktningar. Den största nyheten i artikeln ligger på studier av sidokrafter, vilket för dedicerade maskiner inte har studerats i större utsträckning eftersom de är styva utan avvikelser. Artikeln presenterar en metod för bankompensering i hela robotens arbetsområde med liknande funktionalitet som fogföljning i mer traditionell svetsning.

*“Process Requirements for Robotic Friction Stir Welding in Automotive Applications”: Project report which is planned to be further developed into a model for predictive control of the robot and weld quality, and subsequent publication:*

Detta papper vidareutvecklar SPS-konferensens bidrag avseende robusthet och visuellt utseende av fogen.

*“Opportunities for lightweight vehicle design by using robotic friction stir welding”: Will be presented at the Joining in Car Body Engineering Conference, Bad Nauheim, Germany- April 2012*

Ett abstract har accepterats och valts ut som ”program highlight” för att inleda en timmes interaktiv diskussion om införandet av FSW i fordonsindustrin och med speciellt fokus på robotisering för att kunna tillverka lättare bilar på kortare tid. Alla stora biltillverkare deltar i denna konferens, t.ex. BMW, Audi, Mercedes, och det blir intressant att följa diskussionerna.

*“Three-dimensional Friction Stir Welding of Inconel 718 using the ESAB Rosio FSW-robot”: Abstract accepted at the Trends in Welding Conference- June 2012.*

Papperet presenterar de första resultaten av att foga nickelbaslegeringar med robotiserad FSW med förvärmning för att kunna minska erforderliga processkrafter och spindelmoment. Ett nytt backing-material, som förbättrar svetsens rotsida, kommer att presenteras. Det är så vitt vi vet världspremiär för denna typ av robotiserad FSW-tillämpning.

*“Influence of Roll Angle on Process Forces and Lap Joint Strength in Robotic Friction Stir Welding”*: Abstract accepted at the FSW Symposium 2012- May 2012.

Detta papper beskriver hur en ny processparameter påverkar svetsresultatet. Det är vanligt att snedställa verktyget en aning för att ge mer tryck på materialet bakom verktygets spets. Papperet beskriver ett försök att snedställa verktyget i sidled för att kompensera för den asymmetri som processen utvecklar. Sådan snedställning kan konventionella FSW-maskiner inte åstadkomma, men det går bra med en robot. Försöken visar på en marginell inverkan på fogens styrka, vilket är gynnsamt för 3D-fogar, eftersom man där inte alltid kan hålla verktyget i samma vinkel mot gentemot foglinjen.

*“Robotic Friction Stir Welding”*: Movie showing and summarizing results from the project, February 2012.

Filmen visar resultat från StiRoLight-projektet och kan ses på YouTube på

<http://www.youtube.com/watch?v=euO-Llkew8o> (3:38, HD kvalitet). Dessutom kan flera filmklipp ses på följande länkar (alla i HD kvalitet):

<http://www.youtube.com/watch?v=zRuX7V6Heik> (1:10),

<http://www.youtube.com/watch?v=Z-DexeG8W70> (1:42),

<http://www.youtube.com/watch?v=oS1JsBlbKbc> (3:15)

#### 6.4. Industriella resultat

Deltagande parter har lärt om processens fördelar:

- ESAB har fått värdefull erfarenhet från användning av deras robotiserade system och dess begränsningar, och är intresserade av föreslagna lösningar.
- Slut användaren Saab Automobile har visat stort intresse för den robotiserade FSW-fogningen av bilkomponenter, speciellt av de förstärkningar av motorhuv, som projektets ena demonstrator utvecklat metod för. Ett examensarbete på kandidatnivå är utfört med handledning av Jeroen De Backer, titel: "Förbättring av karosskonstruktion som möjliggörs av Friction Stir Welding", se Appendix 6. Det faktum att företaget försatts i konkurs fråntar inte projektdeltagarna dessa viktiga erfarenheter.
- Slut användaren Volvo Aero har fått erfarenheter av fixturkrav för att FSW-foga samman nickelbaslegeringar i stumfogsconfiguration. Även här har ett examensarbete på kandidatnivå utförts handlett av Jeroen De Backer med titeln "Åtkomststudie för robotiserad svetsning av flygmotordetalj", se Appendix 7.

## 7. Slutsatser och fortsatt forskning

Projektet har rönt stort intresse, inte bara från projektets parter utan också från nationella och internationella aktörer. Demonstratorn hos HV på PTC har starkt bidragit till detta.

Den robotiserade lösningen har uppvisat stor potential och ett antal slutsatser har dragits om banavvikelse och robotens arbetsområde. Roboten uppvisar inte samma beteende i hela sitt arbetsområde, och detta är viktigt att hantera speciellt då stora krafter anbringas.

Här spelar kunskap om robotens kinematik och dynamik stor roll, och ett antal nya forskningsfrågor har uppkommit i samband med detta. Man behöver få ytterligare kunskap om processen för att helt och fullt kunna genomföra bankkompensering i 3D. Robotisering som sådan är mogen i fordonsindustrin, men hittills har man inte behövt ta hänsyn till så stora krafter som det gäller i FSW. Därför är ytterligare forskning nödvändig för att nå industriell mognad på det området. Ytterligare frågeställningar som behöver svar är hur konstruktörer skall få kunskap om denna nya process – den påverkar naturligt hur man som konstruktör nyttjar den bäst. Projektet har inte beaktat specifika material och verktygsfrågor, vilket också behövs för industriell mognad.

Sammantaget har StiRoLight väsentligt ökat kunskapen om både FSW och dess robotisering, har etablerat HV som en internationell aktör inom området och lagt grunden för införandet i svensk fordonsindustri genom två relevanta demonstratorer.

## 8. Deltagande parter och kontaktpersoner

Partner	Logotyp	Kontaktperson
Högskolan Väst		Docent Anna-Karin Christiansson
Innovatum Teknikpark		Prof Lars Pejryd
Saab Automobile fram till Dec 2011		Tommy Christensen
ESAB Engineering AB		Dr Mikael Soron
AB Volvo		Håkan Sundberg