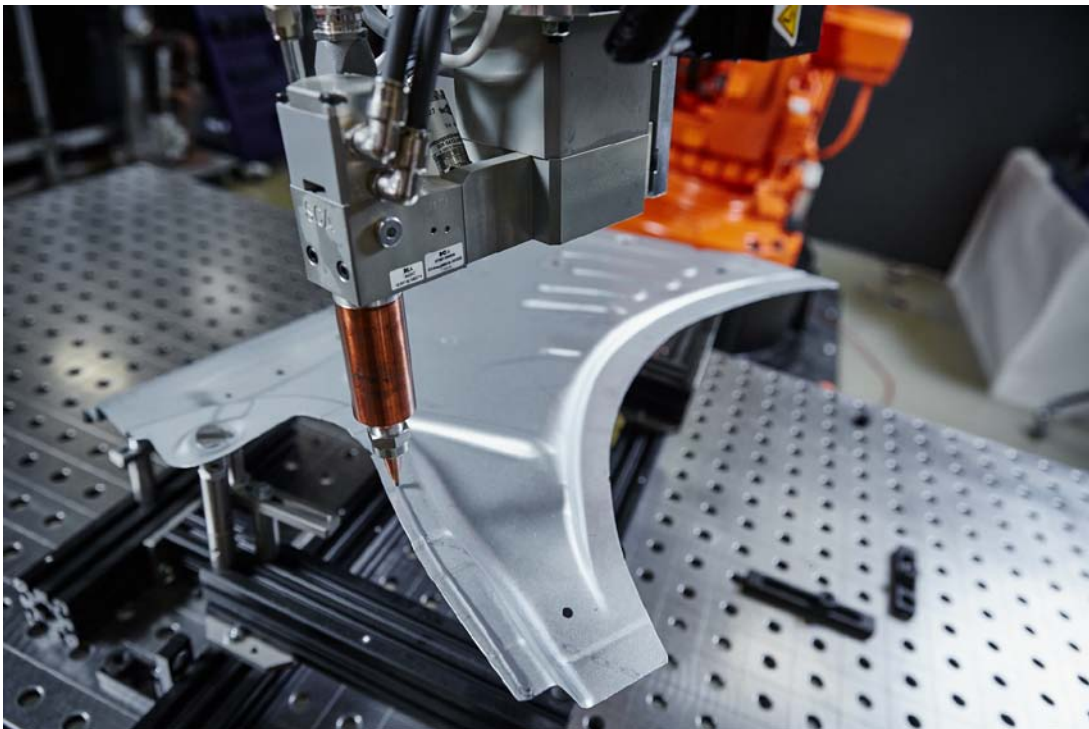


# GOLF

## Geometri Optimerad Lim Fogning



Författare: Per-Johan Wahlborg  
Datum 2015-11-30  
Delprogram Hållbar produktion)

**FFI** Fordonsstrategisk  
Forskning och  
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

# Innehållsförteckning

<b>1 Sammanfattning .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Executive summary.....</b>	<b>4</b>
<b>3 Bakgrund.....</b>	<b>7</b>
<b>4 Syfte, frågeställningar och metod.....</b>	<b>8</b>
4.1 Syfte .....	8
4.2 Går det att optimera limmets placering i fogen utifrån: .....	9
4.3 Metod .....	9
<b>5 Mål .....</b>	<b>9</b>
<b>6 Resultat och måluppfyllelse .....</b>	<b>10</b>
6.1 Uppbyggnad av democell.....	10
6.2 Simulering och banplanering.....	11
6.3 Montering av icke nominell geometri .....	13
6.4 Limfogens geometri och appliceringsmetodik.....	14
6.5 Metodutveckling: Framtagning av reologiska modeller till simulering i IPS. ....	17
<b>7 Industriell avprovning.....</b>	<b>20</b>
<b>8 Spridning och publicering.....</b>	<b>22</b>
8.1 Kunskaps- och resultatspridning.....	22
8.2 Publikationer.....	22
<b>9 Slutsatser och fortsatt forskning.....</b>	<b>22</b>
<b>10 Deltagande parter och kontaktpersoner .....</b>	<b>23</b>

# 1 Sammanfattning

Multimaterialkombinationer i sammansatta produkter blir allt vanligare, för att optimera produktens egenskaper och optimera vikt. I dessa sammansatta konstruktioner av olika material är fogningsmetoderna centrala. Limapplicering är idag en process som tar mycket tid i anspråk och som idag ur ett hållbarhetsperspektiv ger ett tveksamt resultat då man dels brottas med alldeles för stor materialåtgång av lim, dels att limmet hamnar på ställen där det inte skall vara men det viktigaste är att man egentligen inte säkerställer att man får en optimal fog som garanterat klarar att bära den last eller egenskap som man avsett.

Projektets mål tog sikte på de övergripande målen om en högre produktivitet i tillverkningsberedningen och i produktionsprocesserna samt en minskad miljöpåverkan och att bidra till reducerad CO<sub>2</sub> utsläpp genom att säkerställa repeterbara och kvalitetssäkrade limfogar som är en förutsättning i framtida multimaterialanvändning.

Projektet var indelat i 6 arbetspaket som utgick från limfogens geometri och de industriella applikationerna för att baserat på tidigare erfarenheter inom lack- och tätnings-simulering och banplanering utveckla teknik och metodik för optimal limapplicering med hänsyn taget till komponenternas geometri. Syftet var både att kraftigt reducera berednings- och programmeringstid för applicering och att höja kvaliteten på själva limappliceringen kopplat också till limfogens geometri.

En viktig del i projektet är att karaktärisera limmet ur reologisk mening för att skapa indata till limläggningssimuleringen och banplaneringen. Detta har utvecklats till en dokumenterad metod som verifierats i examensarbeten. Se bilaga B.

Sammanläggningen av fogytorna i montering av komponenter har studerats och beskrivits. Kombinationen av limsträngens placering och sammanläggningens förflyttning av limmets placering i fogen är komplicerat och ställer stora krav på beräkningssimulering som inte finns idag. Kopplingen mellan hållfasthetskrav på härdad fog och det faktiska monteringsresultatet och placeringen av lim strängen måste utredas vidare.

Projektet kan leverera en implementerbar teknik och metod för optimal limapplicering men också med detta bidra till att höja kunskapsnivån kring vikten av att skapa rätt förutsättningar så att limfogens egenskaper kan nyttjas maximalt i framtida produkter.

Hos de deltagande företagen har mjukvaran provats och erfarenheterna paketerats i Business Case. Ex VCC har idag cirka 100 meter lim på bilen och ca 52 robotar som applicerar detta lim.

Driftsättning och avstämning av dessa robotar är mycket tidskrävande, om man jämför med en punktsvetsrobot.

Limprocessen är den kritiska tidslinjen under driftsättningsfasen. Med detta nya sätt att simulera resultatet av limsträngen kommer att kunna hjälpa oss att minska driftsättning tiden och därmed förkorta våra projektledtider.

Trimningen sker i olika steg.

1. Leverantör börjar att trimma ca: 13 / tim robot
2. Leverantör + VCC fortsätter trimma ca: 8 / tim robot
3. Uppföljning trimning med leverantör ca: 6 / tim robot

Med den nya tekniken kan vi förutse och optimera programmet redan i den virtuella miljön. Detta kommer att spara upp till 40% av driftsättning och trimningstid per robot. Med den nya tekniken kan vi ta bort limprocessen från den kritiska tidslinjen i projektet.

1400h per bil projekt spenderas på trimning i cell över 5-6 månader.

Liknande erfarenheter från de andra företagen ger att projektet upp fyller målen för programmet.

## 2 Executive summary

"Geometry Optimised adhesive joining for sustainable production" in Swedish (Geometri Optimerad LimFogning för hållbar produktion, "GOLF") is a project within the Swedish research program FFI for Sustainable production. It has as its mission to develop technology and methods to get the right amount of adhesive on the right place. The drivers behind this are the overall strive to decrease weight in vehicles and moving machines to minimize the amount of CO<sub>2</sub> in the atmosphere.

The CO<sub>2</sub> hunt, forces development of new material combinations in products that got to be more efficient. This material combinations causes some new joining situations where old knowledge of joining components of the same material are overruled by material combinations that can't be welded or joined together with rigid joint methods that don't take the different behavior of the joint material in account. Using adhesive as an joining method is not an new technology, but the use of adhesive in the way that the new material conditions put the demands on the parts and products is a new thing.

The car industry has used adhesive bonding for over thirty years. It has mainly been used as a sealing material in welded or riveted joints where the forces in the joints between the materials should have been carried out by the spot welds or rivets. The adhesives strength has been looked at as some kind of bonus in the total strength of the joint. This are shown in the facts around the data of stress analyses with FEM where there are very little traces' of how to involve the strength of the adhesive in the structural analyses. Look at the thesis work (**Effects of Cyclic Thermal Loadings on Distortion of Dissimilar Joined Materials**) in the appendix A. There are almost no evidence of how to model the adhesion in the FEM solutions. Because of the history of joining technology the demands of which forces a joint should be able to wear there are no real design demands on the joint. The knowledge of how much stresses and in which directions it should work are based on the destructive testing that almost all car manufacturers uses to investigate that the joints are correct. One problem is that with the new materials and material combinations. The part price becomes much more expensive than with an all steel component. From around €5 to €20 per sheet metal part to €80 to €100 per multi material part, which means that destructive testing is not manageable any longer. This also means that process control to assure that the joining method delivers the joint that the designer intended is of most importance.

The process to create a more design directed requirements will take some time. In the mean while the knowledge around the process parameters to be controlled and monitored to be able to produce correct adhesive beads with placement control is of great importance.

The "GOLF" project had its start point from state of the art knowledge and technology of adhesive characterization, collision free path planning and advanced fluid simulation. The project aimed to through the rheology status of the adhesive create optimized robot programs to fulfill coming requirements of placement, amount and compensation. To meet the effects of assembly parts that have joining surfaces that are not geometrical optimal due to the theoretical ideal to mount the meeting surfaces parallel in normal direction. The deviations could come from parts that are deviating from the nominal form, it is not held in its nominal shape during assembly or the shapes of the parts can't be assembled with all joints in normal direction. There will be sliding or tilting conditions during closing the gap between the parts. This has been studied in the project in a comparable small study to investigate which forces the parts puts on the bead and which forces the bead reacts with, that can change the shape and imply stresses in to the parts during fixation and curing. The study showed how complex the forces in the gap directs the effects on the adhesive and the parts which must be carried out in a continuation project.

The rheology status of the adhesive has shown to control these phenomena as well as the application parameters during application. The rheology studies showed that the input viscosity depending on age and other factors creates a significant difference in the end result depending on how much each equipment kneading the adhesive during processing. Since the studied adhesives and especially Elastosol M91 are a shear thinning adhesive with some tixotropic behavior shows different and not always logical effects of aging the necessity of continuously rheology studies should be recommended. Today this is mainly done in the beginning of a car project if the supplier can't support you with this figures. But our studies shows that even inside the process window, marked on the barrel, the differences are so big that the parameter settings must be changed during the production process. The effects are known by the process people but we have a method to provide the production people with this information in advance. To develop the principal method developed in the project to a more general one we arranged a thesis work (**Rheological characterization of adhesives for use in modeling of adhesive application in simulation software IPS**) that are reported in appendix B.

The data from the rheology studies as viscosity and shearing rate are used as input to the fluid simulation software used in the project. Our partner FCC (Fraunhofer Chalmers Centre for industrial mathematics) has integrated their own developed fluid dynamic software called IbuFlow in the path planning software IPS (Industrial Path Solution). In a way that when you program the robot from the decided path represented by a line string on the CAD model. You will take in a count the nominal demand on an ideal nozzle to achieve a nominal bead on top of the line string. From that theoretical nozzle movement there is an motion program created taken in a count all surrounding geometry that might be in conflict. The program is post processed to in our case an ABB RAPID program that are directly executable in Robot Studio, ABBs control system. The local IPS path could also be exported to an XML file which is the input format to the integrated Flow simulation. To simulate directly on the IPS calculated program gives you a first hint about where there could be difficulties due to unwanted robot moves that will give distortion in the bead. That is today adjusted manually directly in IPS but will be optimized in next version. When

you are satisfied with your program you post processed it to RAPID and execute it at the robot. There will be a controller response which will show a different bead than in the theory. This comes from how the robot controller response and acts on the movement commands. To feedback this since there are no easy way of getting an output out of Robot Studio, we have in the project used Process Simulate from Siemens with a ABB controller as a virtual robot to have a controller response in an XML file to feedback in to IPS. That result has been compared with photo, Video and measurements with Swerea Athos III measurement scanner in 3D and are verified to be very similar to reality. To integrate a robot controller response in IPS will be a challenge for coming projects to get better conditions for doing an automated optimization.

To test and develop the IPS functionality there was a demonstration cell build at Swerea IVF. The DEMO cell was equipped in the same way as a production cell. The cell contains two ABB robots, two steady welding tables with index holes, position fixture for fixed applicator with speed shift fixturing system so that it is easy to shift from robot held to fixed applicator. Everything in the cell is measured towards the robot cells common reference zero point which the CAD model has been adjusted to. The applicator with all support equipment has been rented by the project partner SCA Schucker who also equip Volvo Cars among other car manufacturers. In the index holes fixtures for the parts can be repeatable positioned between the different test runs. There is also a carbon fiber material handler for one of the parts to show part position with robot and simultaneous robot application. The total similarity between the virtual and physical environment makes it possible to program the cell from either Robot Studio or as we are testing in the project the IPS software. This DEMO cell are already a part of new projects like the "FALS" project and coming projects like the planned GOLF2.

To conclude the project have created a working methodology for characterization of adhesives that has been used as input both in the assembly study and in the development of the adhesive application version of the IPS software. This has made it possible to increase the quality of adhesive beads where almost all aspects of a well-functioning adhesive joint are taken in to a count. As mentioned above there are still new challenges to address in future work like, generalize the characterization method for 2k and other application methods like E-swirl that works in another shearing range than ordinary applications. Tighten the loop of simulation so that use of expensive third party software like Process Simulate can be excluded. Fully describe, simulate and control assembly and all effects on parts and final position of the adhesive after fixation before curing. If all this are addressable in one or several projects will be shown in the future.

The industrial test and business cases have showed the potential of gaining time and cost. But the effects are very dependent on how the procurement of the production cells are arranged. In both VCC and Volvo Trucks where the procurement of the production lines are bought including programming the time and money saving of the first part of the ramp up period ends up at the integrator company and just partly at the OEM. While the later part where the supplier and OEM works together in the fine tuning the time/cost saving are equally divided. And first in the fine tuning in production the whole gain are at the OEM. At VCC today they have around 100 meters of adhesive on the car and about 52 robots that applies this adhesive. The commissioning and tuning of this robots is very time consuming, if compared to a spot welding robot.

The adhesive process is on the critical timeline during the commissioning phase. With this new way of simulate the outcome of the bead will help us to reduce the commissioning time and by that shortening our project lead time.

The tuning is done in different steps.

1. Supplier starts to tune approx. 13/h robot
2. Supplier + VCC continue tuning 8/h robot
3. Follow up tuning supplier 6/h robot

“With this new technology we can foresee and optimize the program already in the virtual environment this will save up to 40% of the commissioning and tuning time per robot. With this new technology we can remove the adhesive process from the critical timeline in the project. 1400h per car project is spent on tuning onsite over 5-6 months’ time.”

At the subcontractor companies like KB Components and Plastal where the programming are done by their own personnel the gain is easier to find but the volume might not match the costs of investments and education.

### 3 Bakgrund

Att sänka vikt är ett av de högst prioriterade områdena och strategiskt mest viktiga inom fordonsutvecklingen för att bl.a. uppnå de miljömål, genom reducerad CO<sub>2</sub> utsläpp, som får allt högre aktualitet. Lättare fordon är en förutsättning för goda transporter i ett hållbart samhälle. Dessa förväntas åstadkommas med kombinationer av lättare ersättningsmaterial av delar, eller totalt nya system. Kunskapen om säkerhet och tillförlitlighet är baserad på komponenter av samma material som fogas med kända fogningsmetoder. Trenden är tydlig mot materialkombinationer för att optimera produktens egenskaper där styva svårformade material kombineras med veka lätta komponenter. I dessa sammansatta konstruktioner av olika material är fogningsmetoderna centrala och därmed hur kontakten sker mellan olika material. Kombinationerna av material som ska fogas samman ställer krav på kombinationsförband med användning av lim och mekaniska element (nit, skruv). Redan i dagens tillämpningar och kombinationer av material krävs mer och mer att limfogen ska utgöra en strukturellt lastbärande enhet från att lim från början mest använts som tätning. Detta krav kommer bara att öka med de långsiktiga målen att reducera vikt och introducera nya materialkombinationer. Det är då av yttersta vikt att säkerställa ett förbands kvalitet och att man uppnår en fog som klarar de lastfall man dimensionerat för både i produktutvecklingskedet och löpande i produktion.

För limning saknas idag metoder för att bedöma indikationer på förändringar i fogens egenskaper. Vid slutkontroll kan bara konstateras att den fungerar eller fungerar icke, oftast genom förstörande provning. Detta gör att det är extremt viktigt att alla steg i limprocessen kan ske med god kontroll och under optimala förhållanden annars försämras limfogens möjligheter att bära last eller uppnå den tätande och ljuddämpande egenskap som var avsedd.

Dagens situation är långt ifrån optimal ur flera olika aspekter. Dels har man frågorna kring renhet och att rätt förutsättningar finns för att applicera en

limsträng, dels har man själva appliceringen och att få en limgeometri som ger optimal vidhäftning, placerad på rätt ställe även med hänsyn taget till komponenternas geometri och deras variation.

Trots att limning använts industriellt i fordonsindustrin i över 30 år så finns det fortfarande problem som går tillbaka till förståelsen hur limmet egentligen verkar genom kohesion (inre sammanhållning) och adhesion (attraktion i beröringsytan) samt förmågan att väta ytorna. Problembilden är ju intimt förknippad med ytbehandling och förbehandling. Här pågår såväl akademisk som industriell forskning för att skapa den renhet som krävs och som många gånger saknas i verklig produktion.

Vid limapplicering är man idag oftast nöjd med att man har fått fram en bana eller en limsträng som någorlunda hamnar på rätt ställe inom given tidsram trots att man både jobbar med interaktiva off-line verktyg för styrning av robot och efterföljande intrimning. En bana består ofta av många start och stopp, riktningssändringar och krav på att följa produktens komplexa geometri vilket skapar svårigheter att styra appliceringsmängd.

Limapplicering är idag en process som tar mycket tid i anspråk och som idag ur ett hållbarhetsperspektiv ger ett tveksamt resultat då man dels brottas med för stor materialåtgång av lim, dels att limmet hamnar på ställen där det inte skall vara men det viktigaste är att man egentligen inte säkerställer att man får en optimal fog som garanterat klarar att bära den last eller egenskap som man avsett. Dessutom kompliceras problembilden ytterligare av att man ofta inte skapar en härdad limfog förrän i efterföljande process och innan dess finns uppenbar risk för washout/washoff-effekter. Med denna osäkerhet ökar risken för korrosionsangrepp och kvalitetsproblem i efterföljande processer.

Projektet avsåg att kombinera State-of-the-Art tekniker för olika områden med "best practice" för optimal fog geometri och utveckla en snabb teknik och metod för applicering av lim som ska skapa en limfog med bästa möjliga förutsättningar för att bära last. Viktigt här är att utgå från limperspektivet och se simuleringsmöjligheter och banplanering som möjliggörande tekniker som gör det möjligt att optimera limfogningen och att utveckla de anpassningar och kompletterande tekniker som krävs för att få ett hållbart industriellt system för geometrioptimerad limfogning.

## 4 Syfte, frågeställningar och metod

### 4.1 Syfte

- Erbjuder en snabb teknik och metod för applicering av lim som ger en jämn och repetitiv sträng med hänsyn taget till komponenternas geometri
- Teknik och metod ska skapa en kvalitetssäkrad limfog med bästa möjliga förutsättningar för att bära last
- Stödja arbetet med att skapa effektiva och optimala program för limapplicering genom kollisionsfri banplanering som utgår från komponentgeometrierna och deras positionering
- Simulera limapplicering för kollisionsfri, verifierad appliceringsbana, cykeltidsberäkning etc.



- Erbjudna metod och teknik som är snabb och enkel att använda jämfört med dagens situation som kräver mycket tid och specialistkompetens. Även företag/personer som inte tidigare arbetat med limapplicering skall kunna arbeta med metoden.

#### 4.2 Går det att optimera limmets placering i fogen utifrån:

- strukturberäkningarna på karossen och därifrån hållfasthetskraven på fogarna
- reologin hos limmet
- den geometriska placeringen av limmet på komponenten
- den förskjutning av limmet som sker under själva hopläggningen av fogen

#### 4.3 Metod

Genom att kombinera state of the art teknik för reologianalys skapa indata till state of the art teknologi för fluidsimering som skapar indata till state of the art teknik för kollisionsfri banplanering och programmering av robot. Ta fram metodik och system för optimerad placering av lim i fog och fysiskt avprova den i demo miljö och beskriva business case om denna teknik finns att införa.

Karaktärisering av lim är ingen standard uppgift som limleverantörerna tillhandahåller. Den redan befintliga IBUFlow programvaran som kan simulera den typ av fluider som lim utgör, kräver ett antal parametrar som en karakterisering av reogilitillståndet kan leverera. För att ta fram data för detta har ett antal limstudier kombinerade med rena viskositetsstudier genomförts.

Med denna data som input i den i IPS integrerade IBUFlow delen skapat aktiva munstycken som i banplaneringen styr robotens positionering med invers kinematik till ett körbart robot program. Detta har sen stämts av och avprovats i DEMO cellen på Swerea och hos de deltagande företagen.

## 5 Mål

Projektets mål tar sikte på de övergripande målen om en högre produktivitet i tillverkningsberedningen och i produktionsprocesserna samt en minskad miljöpåverkan och att bidra till reducerad CO<sub>2</sub> användning genom att säkerställa repeterbara och kvalitetssäkrade limfogar som är en förutsättning i framtida multimaterialanvändning.

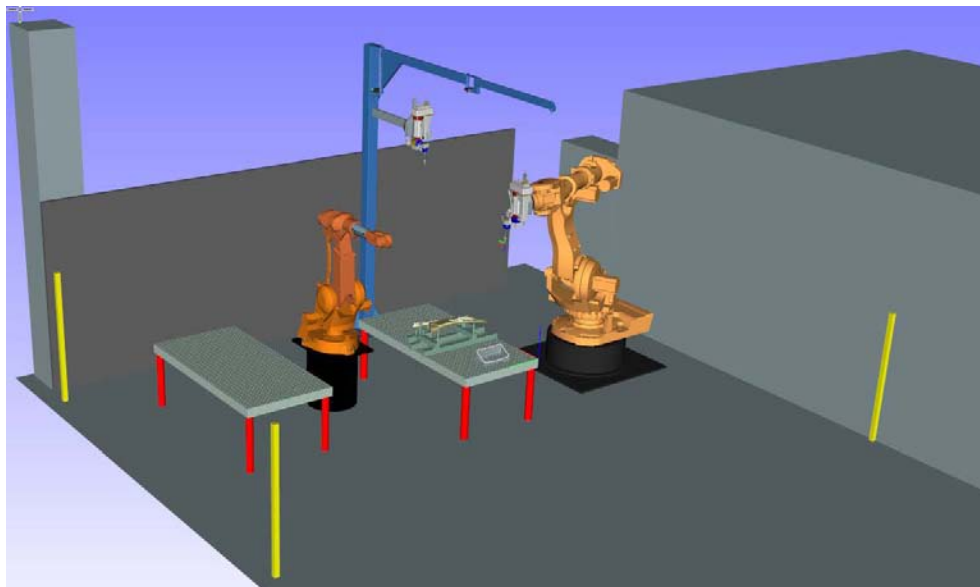
Projektets fokus är ett komplett industriellt paket för effektiv och flexibel limapplicering som ger:

- Repeterbar och optimal applicering av lim
- Optimerad limfog med avseende på geometri, lastfall och minimalt spill
- Beräknad kollisionsfri banplanering för limapplicering som tar hänsyn till komponenternas geometri
- Reducerad omställningstid, uppstartstid, kassation och spill

## 6 Resultat och måluppfyllelse

### 6.1 Uppbyggnad av democell

För att kunna utföra de initiala tester för att förstå limappliceringsprocessen krävdes att projektet hade tillgång till en demonstrationscell som till sin uppbyggnad liknade en produktionscell i industrin. Utgående från den ABB robot som redan fanns med säkerhetslösning och äldre limutrustning från GRACO. Inköptes en begagnad robot med samma styrsystem som industripartnerna har och utrustades med applicerings hårdvara och mjukvara från projektpartneren SCA Schucker. Den "nya" roboten placerades tillsammans med den lite mindre äldre så att de ska kunna arbeta tillsammans om situationen kräver så.



*Bild 1. Uppbyggnad av demo cell på Swerea IVF*

I den inledande studien av de appliceringssituationer som förekommer fann projektet i huvudsak två. Dels där applikatoren (limsprutan) är monterad som 6:e axel på roboten dels som fast monterad applikator och där roboten agerar manipulator av detaljen. Kringutrustning anskaffades så att robotcellen kan arrangeras för bägge fallen. Båda dessa huvudprinciper har sina fördelar och nackdelar och där ett samspel mellan en manipulerande och en applicerande robot skulle kunna optimera de situationer som ingen av de två huvudprinciperna löser bra.

Cellen i övrigt utrustades med stabila och noggranna svetsbord med skalor som kan utgöra grunden för ett flexibelt fixtursystem. Grippers och fixturer för att hantera de testdetaljer som ska användas i projektet har anskaffats. Hela cellen har mätts in och kalibrerats så att den verkliga cellen överensstämmer med den virtuella som finns upp modellerad i både Robot studio och IPS.

## 6.2 Simulering och banplanering

Två av huvudteknologierna som ligger till grund för limfogsoptimeringen är kollisionsfri robotbanplanering och flödessimulering av lim. Utveckling och implementering av teknologierna har skett på mjukvaruplattformen IPS (Industrial Path Solutions).

Indata till optimeringen är en triangulerad geometri (t.ex. jt) samt en kurva som indikerar vart på geometrin limmet ska appliceras. För att roboten ska kunna följa kurvan så har algoritmer utvecklats för att approximera kurvan med ett antal via-punkter sammanknutna med raka linjesegment, där samtliga linjesegment ligger inom ett visst angivet toleransavstånd från originalkurvan. Utöver att skapa dessa segment så söker också algoritmerna en nominell appliceringsriktning mot geometrin, uttryckt i ”spin”, ”drag” och ”tilt” (rotation runt ytnormal, dragnings-/släpnings-vinkel samt rotation i sidled). Som processvillkor specificeras sedan hur mycket roboten tillåts avvika från de nominella riktningarna för att lyckas följa kurvan kollisionsfritt.

För att den parametriserade kurvan ska kunna följas av roboten så har algoritmer utvecklats för att hitta kollisionsfria inverslösningar m.a.p. robotens kinematik. Villkor för problemet är bl.a. minsta tillåtna frigång mellan robot och omgivande geometri. När olika inverslösningar tagits fram så används dessa i en optimeringsalgoritm som, i fallet med flera limsträngar, optimerar sekvensen m.a.p. cykeltid. Dessutom så utförs kollisionsfria banplaneringar mellan efterföljande limsträngar och robotens start- och slutposition för att fullborda hela rörelsecykeln.

För att kunna optimera limappliceringsprocessen har limmets karaktär studerats. Initialt har det enkomponentslim, Elastosol M91, som idag används i produktion hos både VCC och VLV karaktäriserats. Med mer eller mindre samma tillvägagångssätt kan man studera och modellera andra lim såsom epoxy och smältlim. Det är dock viktigt att komma ihåg att eftersom egenskaperna för så olika lim kan skilja sig kraftigt är det svårt att hitta en generell modell, utan vissa initiala tester kan komma att behövas för att hitta de viktigaste belastningsområdena.

### MEASUREMENTS

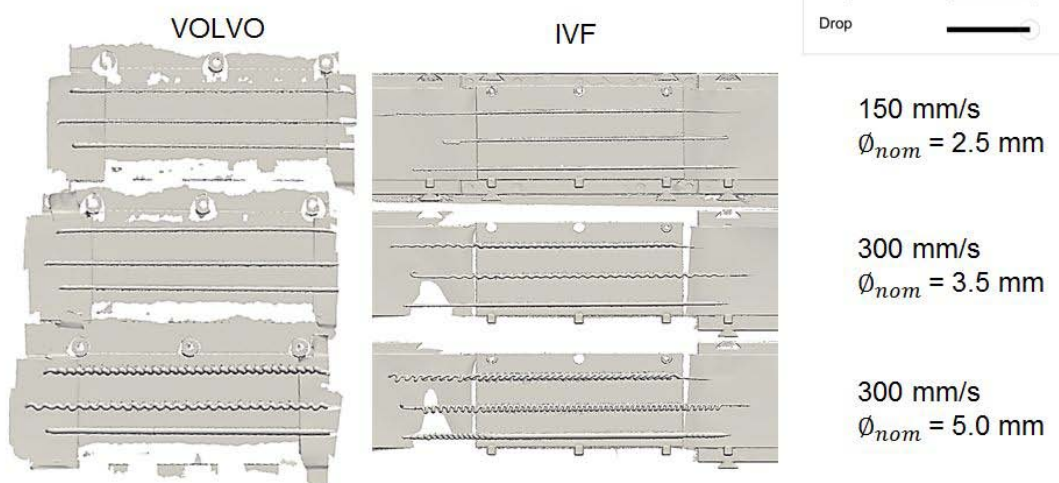


Bild2. Limsträngar med elastosol M91, från två olika utrustningar med samma parametrar.

Elastosol M91 är ett skjuvförtunnande gummilim med vissa tixotropiska effekter. Även viss elasticitet kunde påvisas men då tidsskalan för applikationen är flera magnituder större än relaxeringstiden har en helt viskös modell använts. Skjuvförtunnandet modelleras med en Carreau-modell och thixotropin med en ekvation som beskriver nedbrytningshastigheten av fluidens mikroskopiska struktur (H.A. Barnes, 1997). Eftersom den thixotropiska modell som används beror på fluidens lokala nedbrytnadsgrad vid en given tidpunkt, sparas information om fluidens tillstånd i masslösa Lagrangiska partiklar som följer fluiden rörelse.

Den metodik som utvecklats under karakteriseringen har sen i ett examensarbete på vid Chalmers (**Rheological characterization of adhesives for use in modeling of adhesive application in simulation software IPS**), generaliserats för fler en komponent lim (Se Bilaga B).

Mer detaljerade flödesberäkningar har genomförts på appliceringsmunstycket för att se hur reologin påverkar flödet. De detaljerade simuleringarna valideras mot experimentell data från limstationen på Swerea IVF. I nuläget finns ett förenklat limsimuleringsverktyg integrerat i banplaneringsversionen av IPS. Detta verktyg löser inte limmets flöde till fullo, utan projicerar ner material på underlaget, men kan med fördel användas tidigt i optimeringsloopen för att få en bild av limsträngens geometri.

[http://extra.ivf.se/golf/download\\_wp3.asp?id=14](http://extra.ivf.se/golf/download_wp3.asp?id=14)

och

[http://extra.ivf.se/golf/download\\_wp3.asp?id=12](http://extra.ivf.se/golf/download_wp3.asp?id=12)

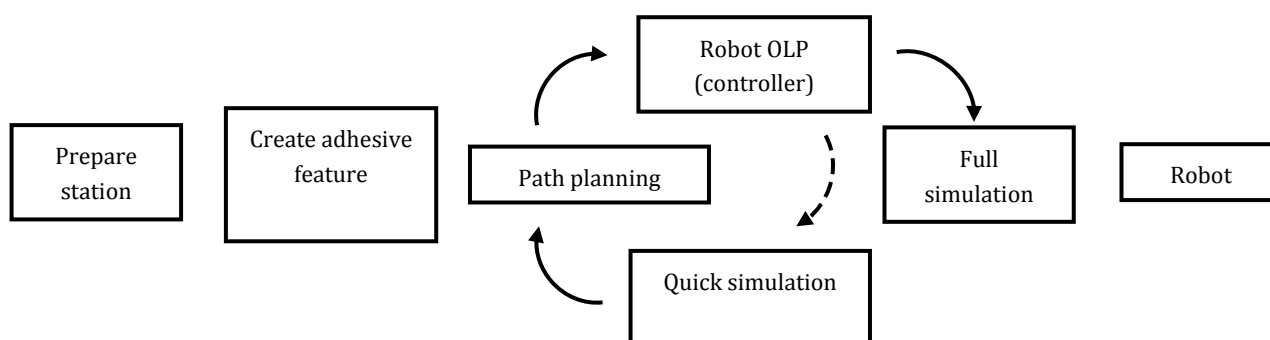


Bild 3. Schematisk beskrivning av simuleringsgången

Verktyget ger dock så mycket kunskap om lägningsförhållandena för just den aktuella fogen att justering av de ingående processparametrarna kan göras på den virtuella modelluppsättningen för en ny loop. När detta är genomfört tar man den mer optimerade filen och simulerar den i det mer exakta simuleringsverktyget som finns integrerat i nästa IPS version där robotik integrationen kommer att vara klar i april.

Simulering och robotprogrammering så långt som detta projekt tagit tekniken ger ökade möjligheter att programmera robotbanor med hänsyn till reologiska behov så att repetitiva limfogar kan uppnås.

### 6.3 Montering av icke nominell geometri

Krav på limmets placering kommer egentligen från dess funktion i fogen. För att få ta del av dessa krav frågade vi deltagarna om hur dessa krav var utformade. Underleverantörsföretagen hade ingen egen kravbild på de fogar de limmade utan godtog den beskrivning som beställaren gjort för fogens utformning. Beställarföretagen VCC och VLV kunde inte ta fram någon kravspec eller standard för vilka hållfasthetskrav som ställdes på en limmad och/eller nitad fog. Det visade sig att strukturberäkningar där lim och fästelement tillsammans bildar en strukturbärande fog inte beräknas med något bidrag från limmet. Limmet betraktas mest som tätning och man är tacksam för det bidrag till hållfastheten som limmet "kan" ge men man räknar inte hållfasthet med limmet som strukturbärare varken på kaross, intrigör eller vindrutor. För att förstå varför genomförde vi ett examensarbete vid Högskolan väst där man fick undersöka hur FEM-modellering av strukturberäkningar med lim som kraftbärare kunde se ut. Se bilaga A (**Effects of Cyclic Thermal Loadings on Distortion of Dissimilar Joined Materials**). Detta visade sig vara svårt då kontakt villkor mellan lim och material inte fanns modellerade. Examensarbetarna fick ta fram egna teorier och kontaktvillkor för att kunna simulera sina exempel. De hittade "inga" / mycket få exempel där kontaktmodelleringen för vidhäftning använts.

Karaktäriseringen skapar också kunskap om vilket tillstånd limmet har i sammanläggningsögonblicket vilket påverkar monteringskraft, risken för slipp och fixeringsgraden efter sammanläggningen. Dessa kunskaper ger behovet av fixturer/sammanhållning av de monterade komponenterna och eventuellt behov av mekanisk fogning under härdning.

Artikelvariation är alltid ett problem vid montering. Avvikelse som genom våld (klämmor mm.) formar det område som ska sammanfogas, skapar inbyggda spänningar som sen påverkar hela den sammansatta strukturen under produktens levnad. I de flesta fognings situationer sker själva fixeringen efter det att eventuellt våld positionerat fogen till sin fogningsposition t.ex. punktsvetsning. Vägen dit är mindre intressant. Om man har lim eller tätningsmassa på den ena komponenten kommer däremot lanseringsvägen innan fixering att få betydelse för limmet/tätningsmassans funktion. Om limmet är strukturbärande kan resultatet av hur limmet klämts undan under själva sammanläggningen vara helt styrande för fogens lastbärande förmåga. Komponentens formavvikelse som påverkar fogens geometri och rörelse riktningen vid sammanläggningen kommer båda att påverka var limmet är positionerat i den slutna fogen under fixeringen.

Projektet har med utgångspunkt från limmets reologi påvisat vilka fenomen som uppstår när två fogytor möter och sluter sig mot varandra och var limmet med känd reologi tar vägen. De reaktionskrafter som uppstår i limmet och som trycker komponentens fog ytor från varandra ska i teorin vara 180 grader. I verkligheten är det sällan som detta ideala tillstånd gäller utan pga. avvikelser på komponent och rörelseriktning får vi icke parallella reaktionskrafter.

Komponenterna i fogplanet av dessa reaktionskrafter kan flytta såväl lim som komponent och smeta ut limmet ojämnt och tillföra luftinneslutningar och ojämnheter som underlättar wash out effekter vid efterföljande ytbehandling.

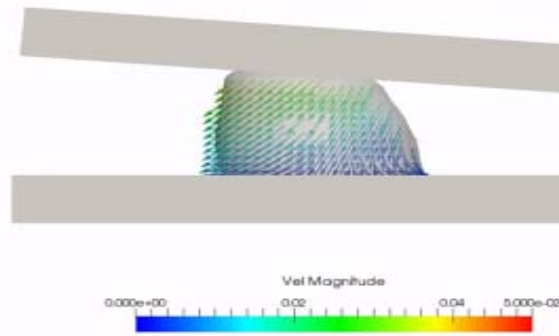


Bild 4. Reaktionskrafter i fog vid sammanläggning

Att räkna på limfogens rörelser i ett tvådimensionellt plan är ganska känd teknik. Att räkna i tre dimensioner visar sig ha vissa begränsningar rent beräkningstekniskt. Vid FEM beräkning av dynamiska fluider använder man sig oftast av Lagrangemodlleringstekniker. Denna har begränsningar i hur stora beräkningsvolymen man använder för noggrannheten i sina problem. En komponent med flera fogar som kan samverka eller motverka de fogparallella reaktionskrafterna är hittills svåra att innesluta i samma beräkningsvolym. Varför den totala lastbilden på hur reaktionskrafterna påverkar sammanläggningen hittills inte gått att beräkna. Projektet har räknat på en fog i taget men detta ger inte det resultat som behövs för att kunna simulera monteringsituationen. Vid jämförelser med annan parallell forskning i Tyskland (Fraunhofer IFAM) visar det sig att de sitter med samma problem och detta kommer sannolikt leda till att problemet får en lösning inom kort. Projektet hade som uppgift att studera sammanläggningsproblematiken och dess status i studieform. Budgeten ger inte utrymme för lösningar men problemen är beskrivna, lösningarna är identifierade och ev. partners identifierade.

### 6.3.1 Fixering av sammanfogade komponenter

Efter sammanläggningen ska komponenterna fixeras. Nitsimulering och fals simulering pågår i PLUGG respektive FALS projekten. Parallell forskning pågår på Fraunhofer IFAM som bevakas. Deras förenklade modeller är inte på samma nivå som de som används i PLUGG och FALS projekten men är intressanta ur ett tidsperspektiv då deras förenklingar kanske ger tillräckligt bra och mer tidseffektiva resultat.

## 6.4 Limfogens geometri och appliceringsmetodik

Efter kartläggningen av vilka limsystem och applicerings situationer som fanns hos de deltagande företagen enades vi om att rund limsträng på plan yta var det som gällde. Se bilaga C. (**Processparametrars inverkan på limsträngsgeometrin**) där storlek och läge på limsträngen redovisas i separat rapport.

Beroende på hur man vill att strängen skall flyta ut mellan ytorna under sammanläggningen kan man delvis påverka detta genom att forma strängen på olika vis.

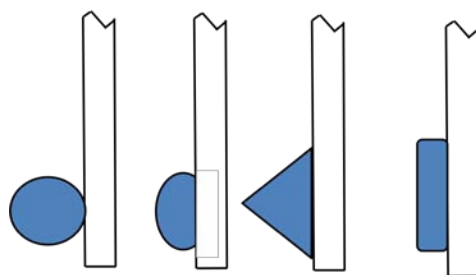


Bild 5. Olika form på limsträng

De vanligaste är rund med olika diametrar, framför allt på plåt som ska nitas eller punktsvetsas. Flat där man är säker på geometriavvikelserna och fyllnadsgraden mellan ytorna kan garanteras respektive man vill ha en jämn motkraft när ytorna slutar t.ex. vid falsning. Triangelformad där vätningen mot den mötande ytan ska garantera så att luften pressas ut från fogen utan inneslutningar t.ex. Vindrutelimning.

Det finns två huvudprinciper för limapplicering, robotmonterad eller fast applikator. Robotmontering är som nämndes i kap 3 när applikatorn blir en 6:e axel på robotarmen detta ger fördelar med att åtkomligheten ökar man kan lägga lim vertikalt, horisontellt på vertikal vägg eller upp och ned. Men man hamnar ofta i situationer när man går ifrån ideal situationen med 90 grader från ytan och horisontellt på liggande yta. Effekterna av detta beskrivs i Bilaga C se ovan. Beroende på limreologi kan robotmonterad applikator skapa sämre precision på strängen och mera spill men är smidig att programmera med Offline hjälpmedel.

Fast applikator ger däremot alltid den mest optimala appliceringen mot ytan men är bökgigare att programmera, svårare att komma åt, hanteringen av komponenten skapar dynamiska effekter beroende på storlek och utbredning på komponenten. De strängar av lim som redan är lagda kan av centrifugalkrafter slungas av eller flytta sig beroende på limmets reologi.

#### 6.4.1 Limapplicering i projektet

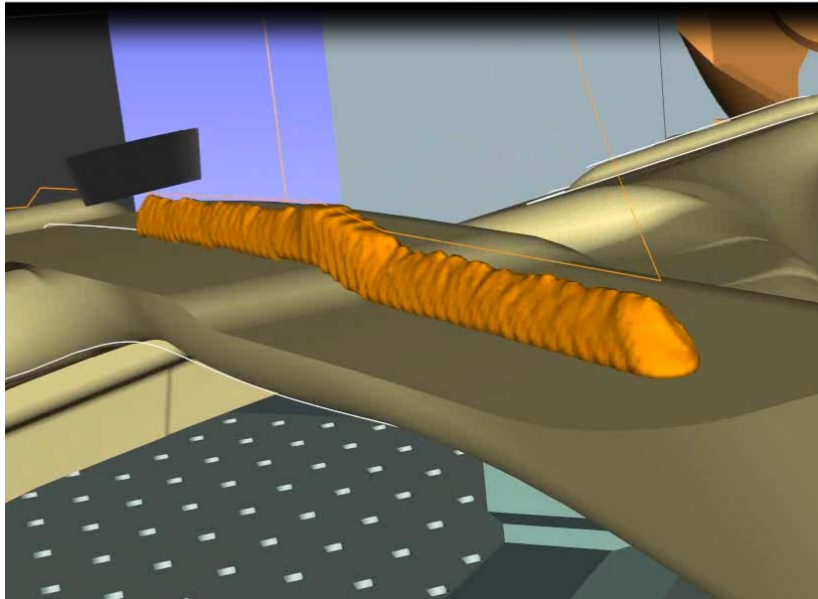
I den Demonstrations cell som iordningställdes under projektet har vi provat och verifierat att den simulering av given limreologi som är indata till IPS programvaran gett rätt mängd lim på rätt plats. Detta har skett genom att vi programmerat banor med limsträngar på de test komponenter som vi fått av våra deltagare.



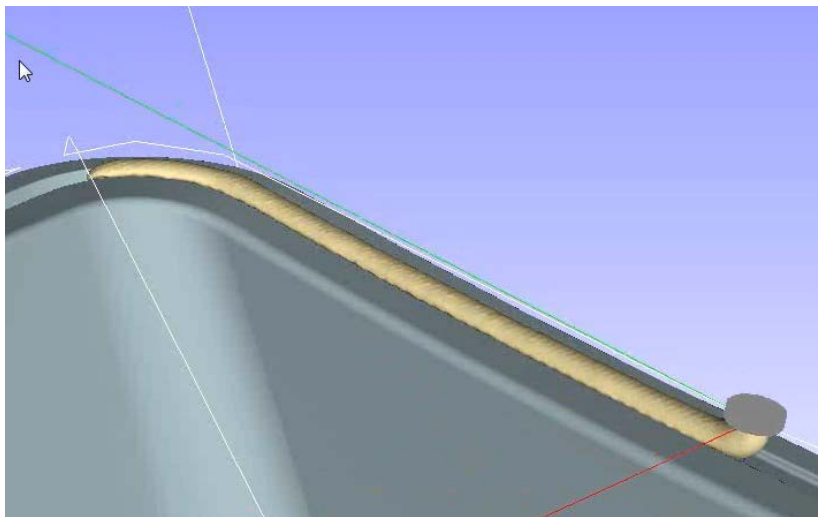
*Bild 6. En inner skärm till VCC, en förstärkningsbalk från VLV och instrument hus med glas från KB Components.*

På dessa har linjesträngar motsvarande limsträngar lagts ut i CAD system och överförs till IPS för programmering. I IPS har den ideala banan utifrån de geometriska och reologiska förutsättningarna programmerats kollisionsfritt. Detta program har översatts till Robot studio RAPID kod och kunnat köras i robot direkt. Man ser då att tolkningen av detta ideala program kan förbättras. Robotkontrollern har vissa fördröjningar och kör axlarnas motorer i en viss ordning vilket skapar oroligheter i den verkliga strängen. Dessa oroligheter är av samma typ som limoperatören lägger ner dagar på att justera bort efter programmering med traditionella Offline redskap. Den stora skillnaden så här långt är att istället för som sker i ett traditionellt verktyg där operatören anger vilken geometri som skall följas och där parametrar för lim och hastighet och hinder måste hanteras under programmeringen per bana. Sker allt detta automatiskt när man givit IPS de geometriska förutsättningarna inklusive omgivning samt reologi parametrarna för limmet i en batchprocess där många banor eller limsträngar programmeras i sekvens. Detta ger en stor tidsvinst vid själva programmeringen. Efter att programmet är skapat kör man programmet genom en virtuell robotkontroller där de nämnda fördröjningarna är kompletterade till Rapidkoden i en XML liknande fil kallad XMO. Vid simulering av XMO-filen i IPS får vi ett mycket väl överensstämmande resultat mellan simulering och verklighet, den enda skillnaden är att i snabb simuleringen är inte gravitationsegenskapen på utflytning med vilket den är i Batch varianten. Men limansamlingar i övergångar mellan geometrier överensstämmer mycket väl. Vilket verifierats med film och mätskanning. Att utifrån dessa svar göra det arbete som limoperatören får göra i cell direkt i IPS och justera och loopa programmet där innan det går ner till limcellen spara mycket tid och framför allt beläggning i limcellerna.





*Bild 7. Snabb simulering av lim*



*Bild 8 Noggrann simulering av lim*

## 6.5 Metodutveckling: Framtagning av reologiska modeller till simulering i IPS.

För att kunna beskriva hur limmet flyter ut vid applicering måste det för varje lim tas fram reologisk data som kan användas i simuleringsprogramvaran IPS. Då limmets väg från tunna genom slangpaket fram till doseringskammare och sist ut genom en nozzel så utsätts limmet för skjuvkrafter och skjuvhastigheter. För att ta fram data som behövs från mycket låga till mycket höga skjuvhastigheter behövs en metodik som kan repeteras när ett nytt lim skall karakteriseras.

Därför gjordes en stor studie där blandat annat ett mastersarbete ingick under akademisk ledning av Tillverkning och materialteknik på Chalmers och handledning från Swerea IVF och FFC. Se bilaga B

Vid låga skjuvhastigheter visade studien att man med enkelhet kan ta fram data med reometer där man skjuva materialet roterande eller oscillerade mellan två plattor. Beroende på storleken på fasta partiklar i limmets innehåll ska man välja kon/platta respektive Platta/platta. Vid högre skjuvhastigheter räcker inte

denna metod till då måste man ta till en kapillär-reometer. Problemet här är att viskosimetrar som mäter mellan låga skjuvhastigheter i Newtoniskt område till "power -Law"område är relativt vanligt förekommande på tekniska utvecklingslabb medan kapillär- reometrar som mäter vid höga skjuvhastigheter inte är det.

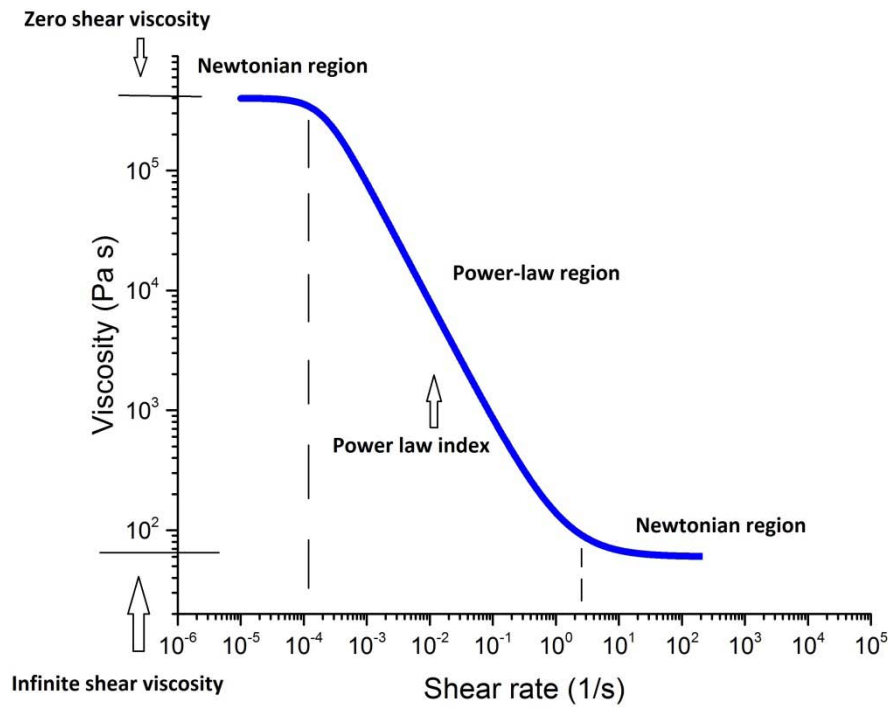


Bild 9: viskositetskurvan av ett viskoelastiskt skjuvningsförtunnande material enligt Carreau-Yasuda modellen som visar de olika newtonska och icke-newtonska regioner tillsammans med de fyra parametrarna införda i Carreau-Yasuda ekvation.

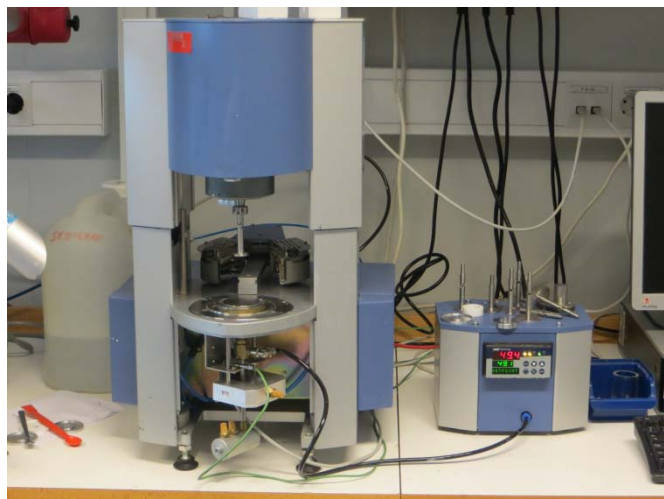


Bild 10: Rotationsreometer Nova Melts Rheometer från Rheologica Instrument som användes i studien



*Bild 11: Kapillär-reometer 2002 från Göttfert GmbH som användes för reologisk mätningar*

Tillsammans med både en rotationsreometer och kapillär-reometer kan man bestämma ett tillräckligt stort utbud av skjuvhastigheter för att kunna simulera applicering av lim.

För förbättrad resultatens tillförlitlighet i skjuvhastighetsområdets intervallet 10<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> till 10 s<sup>-1</sup> bör en kombination av konstant skjuvningsmätningar och oscillerande frekvenssvep utföras.

#### *6.5.1 Glaskulors i limmet och dess påverkan av att ta fram reologidata.*

Då kommande limsystem som bl.a kommer studeras i pågående FFI-projekt Fals är glaskulorinblandning intressant. Därför gjordes en studie för att se om metoden att ta fram reologidata till IPS-simuleringen påverkades av dessa glaskulor. Det som var resultat från detta är att viskositeten är i stort sätt oförändrad vare sig det är glaskulor eller ej i limmet. Dock måste kon/platta användas vid bestämning av reologidata vid lägre skjuvhastigheter. Då platta/platta störs av glaskulorna som rullar mellan plattorna under mätning.

#### *6.5.2 Åldrat lim och dess påverkan av reologin innan applicering*

Då limmet passerar bäst för datum eller blivit stående i uppvärmda zoner så som i slangar och i doseringskammare och i nozzel så har det börjat tvärbinda och på så sätt skapat en högre viskositet på limmet.

En studie gjordes för att få en uppfattning hur mycket tvärbindningsgraden påverkade viskositeten på undersökta lim i projektet.

Åldrandet eller uthärdningsgraden ställdes mot viskositeten. Referensen är ett färskt lim där uthärdningen anses vara 0%. Uthärdningsgraden på limmet bestämdes med hjälp av mätningar i en DSC-utrustning ( Differential Scanning Calorimeter). Som synes i nedanstående diagram så ökar viskositeten med ökad uthärdningsgrad. Dock följer den samma kurva som referensen färskt lim fast förskjutet. Detta mönster gäller för båda undersökta limsystemen baserade på Gummi och Epoxi.

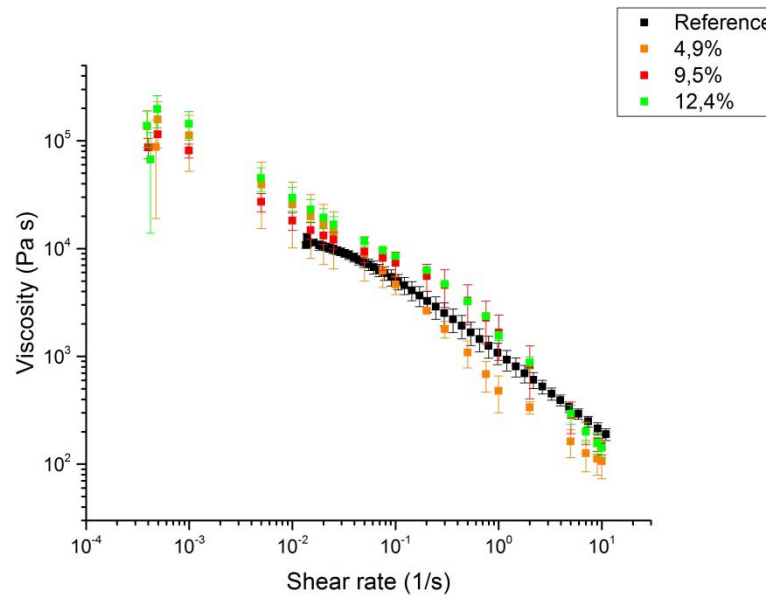


Bild 12: Resultat från åldringsmätningar på Gummilim

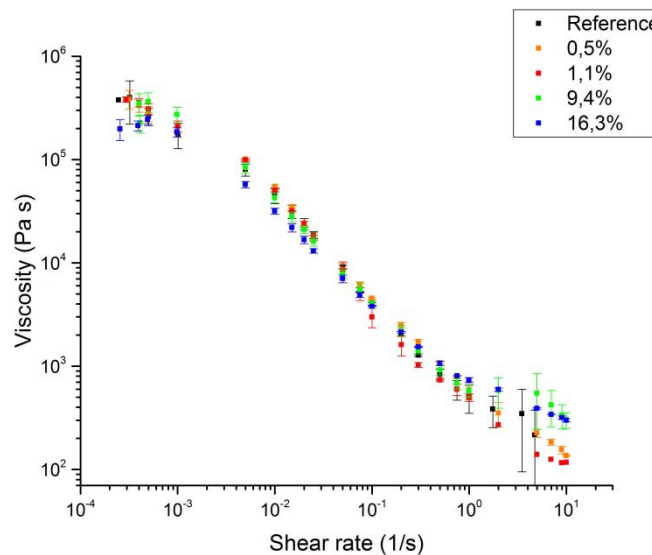


Bild 13. Resultat från åldringsmätningar på Epoxilim

## 7 Industriell avprovning

Volvo Cars som ledde detta paket fick redan vid årsskiftet 2015 tillgång till IPS för limning. Swerea och VCC lärdes upp och provade programmet och arbetssättet innan det släpptes vidare till de övriga företagen. Den industriella avprovningen och beskrivning av bussiness-case har visat på möjligheter att vinna tid och kostnad. Men effekterna är mycket beroende av hur upphandlingen av produktionsceller har skett. På både VCC och Volvo Lastvagnar har upphandlingen av produktionslinjerna gjorts inklusive programmering. Detta visar att besparingarna som finns att hämta i den tidiga produktionsplaneringen hamnar hos line-byggaren och bara delvis på OEM företaget. Vid den senare delen innan överlämnandet, tjänar båda parter

ungefär lika mycket på tekniken och i de efterföljande finjusteringarna under produktion tillfaller vinsterna OEM företagen.

Leverantörsföretagen Plastal och KB Components som inte haft möjligheten att testa hela loopen men har ändå gjort erfarenheter av att hitta nya sätt och principer för programmering av lim. Jämfört med tidigare erfarenheter.

Exempel från VCC:

Idag har VCC cirka 100 meter lim på bilen och ca 52 robotar som applicerar detta lim.

Driftsättning och avstämning av dessa robotar är mycket tidskrävande, om man jämför med en punktsvetsrobot.

Limprocessen är den kritiska tidslinjen under driftsättningsfasen. Med detta nya sätt att simulera resultatet av limsträngen kommer att kunna hjälpa oss att minska driftsättning tiden och därmed förkorta våra projektledtider.

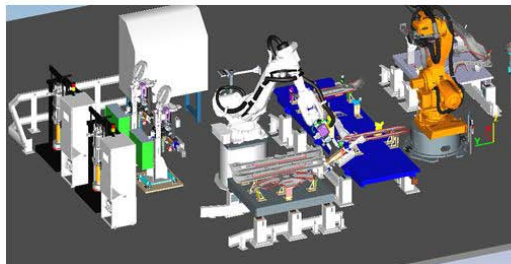
Trimningen sker i olika steg.

4. Leverantör börjar att trimma ca: 13 / tim robot
5. Leverantör + VCC fortsätter trimma ca: 8 / tim robot
6. Uppföljning trimning med leverantör ca: 6 / tim robot

Med den nya tekniken kan vi förutse och optimera programmet redan i den virtuella miljön. Detta kommer att spara upp till 40% av driftsättning och trimningstid per robot. Med den nya tekniken kan vi ta bort limprocessen från den kritiska tidslinjen i projektet.

1400h per bil projekt spenderas på trimning i cell över 5-6 månader.

Detta testfall är övrc instrumentplåt CPL för en ny bil  
Detta är med robotburn lim doserarc.



**Status:**

IPS scen skapad men inte validerad.  
Dokumentation av faktiska resultat finns och robotprogram för att matcha simulering. Kontroll av programvara inte startat.

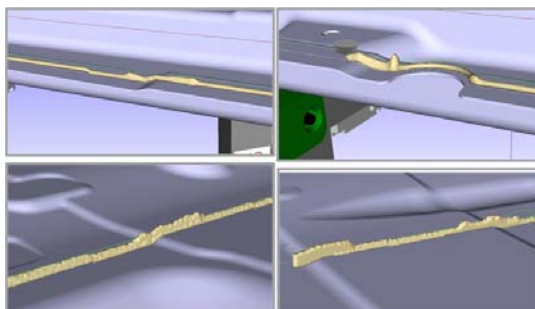


Bild 14. Simuleringsexempel från IPS

Hos underleverantörsföretag som KB Components och Plastal där programmeringen görs av egen personal är vinsten lättare att hitta, men volymen kanske inte matchar kostnaderna för investeringar och utbildning.

## 8 Spridning och publicering

### 8.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	x	Metod för karaktärisering av lim. Visa på alternativa appliceringsmöjligheter
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	x	Projekt såsom PLUGG och FALS(Dnr 2014-03929) och GOLF 2
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	x	Vidare utveckling av IPS mjukvaran hos FCC
Introduceras på marknaden		
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		

### 8.2 Publikationer

White paper:

Process Simulation and Automatic Path Planning of Adhesive Joining  
Martin Svensson FCC Submitted to CIRP CATS 2016

Examensarbeten:

Effects of Cyclic Thermal Loadings on Distortion of Dissimilar Joined Materials  
examensarbete utfört av Siavash Shoja och Amir Reza Zekavat Högskolan Väst

Rheological characterization of adhesives for use in modeling of adhesive application in simulation software IPS examensarbete utfört av Johan Ekelund Chalmers

Arktiklar i Tidskrifter

NyTeknik 11/9 2013

Volvo fixar fogarna med limsimulering.

Företagspresentation 25/11 2015 för SCA Schucker i Bretten Tyskland  
Ledning, produktutveckling och Försäljning 40 pers.

## 9 Slutsatser och fortsatt forskning

Projektet har uppnått de mål som sattes upp vid ansökan. Dock har inte alla händelser som påverkar den totala limappliceringssituationen inträffat. Förutsättningarna att det finns mätbara konstruktionskriterier för limmade fogar har visat sig inte finnas. Limmets vidhäftning vid de fogade materialen finns inte modellerade och tas därför inte med i strukturberäkningen. Projektet har visat att limmet flyttar på sig vid själva hopsättningen av de ytor som skall vara i kontakt i fogen. Projektet hade inte tagit på sig uppgiften att fullständigt simulera monteringen men i en förstudie studera hur det ohärdade limmet påverkas av monteringen. Med den kunskap som denna studie redovisat måste en placeringskompensation göras så att limmet hamnar där det ska i den sammanlagda fogen. Projektets framtagna verktyg kan placera limmet mot en sådan kompensering. Men då kravkriterier på var den härdade limsträngen i fogen måste vara placerad för att göra sitt jobb saknas, är det svårt att kompensera det börvärde som saknas.

Den metod som projektet utvecklat för att karakterisera lim vid de olika reologitillstånd som limmet har under appliceringen kommer att medföra säkrare produktionsförutsättningar än dagens. Den möjliggör dessutom mer fullständig simulering av skjuvförtunnande fluider med viss trixotropi. Detta är en tjänst som borde tillhandahållas

av limleverantörerna då utrustningarna som behövs är både avancerade och dyra vilket inte flertalet kunder har tillgång till. I projektet har vi utnyttjat resurser både hos institut och högskola för att hitta lämplig utrustning. Projektet har med framgång lyckats implementera fluidsimulering och banplanering i samma mjukvara där de från reologistudierna funna parametrarna blivit indata till robotprogrammering via fluidsimuleringen. Vilket innebär att den forskningsvariant av "IPS adhesive" som tagits fram av projektet kunnat avprovas av industriparterna utan allt för mycket support. Det kvarstår dock en hel del anpassning för att få ut en kommersiell licens. Den största bristen består att vi i den nuvarande versionen måste få reaktionen på det virtuellt framtagna programmets tolkning i styrsystemet hos den robot vi programmerar emot via "Process Simulate" från Siemens. En tredje partsprogramvara som bara Swerea och VCC haft tillgång till. Detta hoppas vi kunna förbättra i det sökta fortsättningsprojektet GOLF2.

Då ett projekt likt GOLF projektet tar sig an svåra uppgifter och löser de flesta av de man såg vid ansökan och uppstart. Men finner undertiden som kunskapen ökar att området behöver mer kunskap på frågor som uppstår, tror vi att området behöver mer projekt. Några av de frågor som uppstått har adresserats i kompletterande projekt såsom FALS (Dnr 2014-03929) där viss typ av sammanläggning och fog fyllnad kommer att studeras. I PLUGG (Dnr 2013-02624) kommer kunskap om mekaniskfogning i multimaterial kombinationer som tillsammans med kunskap från GOLF 1 & 2 ökar kunskapen om en mer komplett beskrivning av sammansättning av multimaterial. Bilden av hur svårt det är att hantera det ohärdade limmet innan härdning växer gradvis fram. Efter GOLF projektet har kunskapen ökat samtidigt som komplexiteten visat att det finns mycket mer att forska på. Att greppa all kunskap i ett projekt går inte. Problematiken är dessutom dynamisk då trender styr viss fokusering hos de deltagande företagen. Flera av de limsystem som vi identifierade i början på projektet är inte aktuella längre andra har blivit det. Epoxi baserade limsystem skulle inte in i komponenter och produkter av arbetsmiljöskäl. De är nu nödvändiga ur hållfasthets och prestandaskäl. Varför GOLF projektets motto "Rätt mängd lim på rätt plats" blivit ännu viktigare för fortsatt implementering av olika limsystem. Det sökta GOLF 2 projektet innehåller karakterisering av epoxi system, djupare analys och lösningsansatser för att lösa simulering av sammanläggning och fixering samt mer användarvänlig simulerings programvara för limapplicering.

## 10 Deltagande parter och kontaktpersoner

Deltagare från företag och akademi var:

Volvo Cars AB	Mathias Sundbäck
Volvo Truck AB	Samuel Bäcklund
KB Components	Jukka Valtonen
Plastal AB	Ragnar Sandmark
SCA Schucker AG	Per-Hugo Örnescans
Trilack AB	Stefan Håkansson

Swerea IVF	Per-Johan Wahlborg
FCC	Johan Carlsson
Chalmers	Rikard Söderberg

