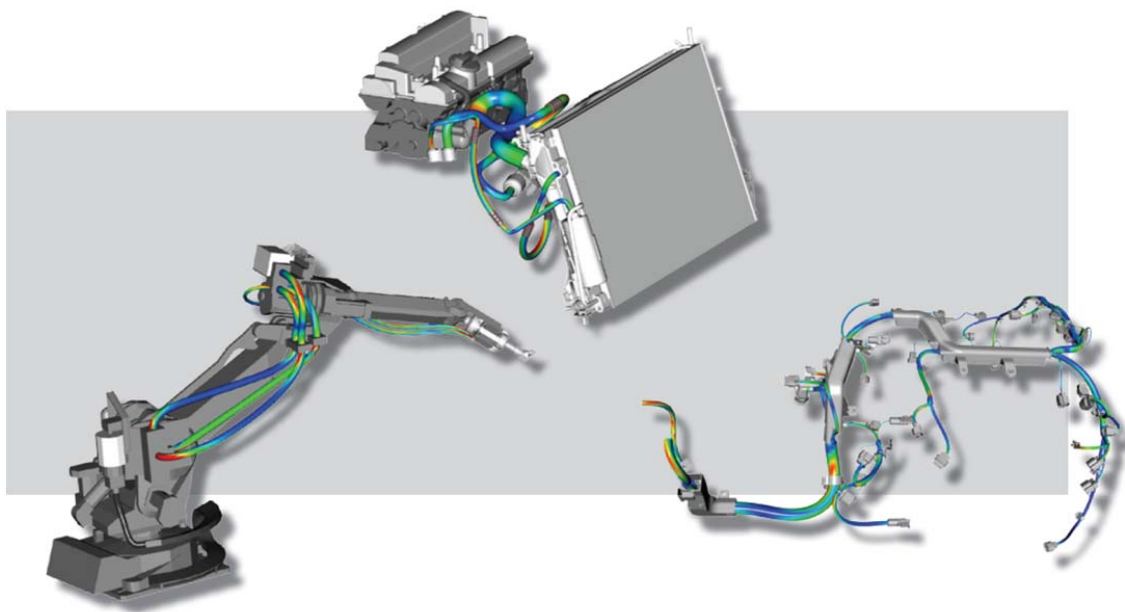




# Packnings- och monteringsanalys av flexibla komponenter i hybrider och lättviktsfordon



Författare: Johan S. Carlson, Lennart Malmsköld, Meike Schaub, Klaus Kaufmann  
Datum: 2013-05-31



## Innehåll

<b>1. Sammanfattning</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Bakgrund</b> .....	<b>4</b>
<b>3. Syfte</b> .....	<b>5</b>
<b>4. Genomförande</b> .....	<b>5</b>
4.1 WP1: Geometrisk packning och design .....	5
4.2 WP2: Banplanering och analys för montering .....	6
4.3 WP3: Modellering och materialegenskaper .....	7
4.4 WP4: Demonstrator och spridning av resultat .....	7
<b>5. Resultat och leveranser</b> .....	<b>8</b>
5.1 Bidrag till FFI-mål .....	11
<b>6. Spridning och publicering</b> .....	<b>12</b>
6.1 Kunskaps- och resultatspridning .....	12
6.2 Publikationer .....	13
<b>7. Slutsatser och fortsatt forskning</b> .....	<b>14</b>
<b>8. Deltagande parter och kontaktpersoner</b> .....	<b>15</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

Tillverkningsindustrin står inför betydande förändringar inom produkt och produktionsutveckling som ett resultat av intensifierade aktiviteter för att hitta mer miljövänliga lösningar. Nya miljökrav, förordningar och nya kundkrav som syftar till ett hållbart samhälle har en enorm inverkan på framtida produkter och produktframtagning. Den starkt konkurrensutsatta bilindustrin är i många avseenden i frontlinjen när det gäller att använda digitala verktyg i hela kedjan från design till produktion, och underhåll och tjänster. Dagens och morgondagens fordon är baserade på mer miljövänliga framdrivningssystem och använder t.ex. el och batteriteknik i högre grad än tidigare och detta kommer att resultera i en kraftigt ökad användning av avancerade kablar och slangar. Även utmaningar som låg bränsleförbrukning och låga CO<sub>2</sub>-nivåer kommer att fortsätta att driva på utvecklingen mot lättare fordon med lättviktskomponenter.

Sammantaget skapar dessa trender utmaningar under konstruktion, verifiering och produktion. För virtuell produktframtagning innebär detta nya och grundläggande krav på simuleringsförmågan av flexibla komponenter och nya material.

Målet med projektet är därför snabbare produktframtagningar av hybrider och helt eldrivna lättviktsfordon. Framför allt har målet varit att utveckla metoder och digitala verktyg för effektiv geometrisk packning, monterings banplanering och analys av flexibla komponenter som rör drivlinor (framdrivningssystem) och lättviktslösningar.

Projektet har genomförts i fyra arbetspaket

- WP1: Geometrisk packning och design
- WP2: Banplanering och analys för montering
- WP3: Modellering och materialegenskaper
- WP4: Demonstrator och spridning av resultat

Projektet har resulterat i nya algoritmer, mjukvaruverktyg och metoder för (i) automatisk dragning av kablar och slangar, (ii) robust konstruktion och toleranser för slangar och kablage, (iii) automatisk monteringsplanering av slangar och kablage, och (iv) kablagemodellering som möjliggör effektiv interaktion med CAD-miljöer.

Några höjdpunkter inom industriella tillämpningar och genomslag som finns redan idag är

- ➔ Elmotorpackning och utformning av Volvo V60 D6 AWD Plugin-Hybrid High Voltage Cable Hybrid.
- ➔ Design och analys av komplexa kablage hos Delphi.
- ➔ Tippning av hytt på Volvo Lastvagnar.
- ➔ Interaktion mellan IPS och NX liksom IPS och Jack, komplexa dynamiska undersökningar, generering av HMD-fil för bakluckemontering vid Opel / GM .



Realtidssimuleringstekniken för deformationer av kablar, slangar och kablage har skapat uppmärksamhet över hela världen och används i dag av företag i Sverige, Tyskland, Asien och USA. Som en spin-off har ett mjukvaruföretag, Industrial Path Solutions Sweden AB, etablerats för att öka kommersialiseringen av tekniken.

## 2. Bakgrund

Tillverkningsindustrin står inför betydande förändringar inom produkt och produktionsutveckling som ett resultat av intensifierade aktiviteter för att hitta mer miljövänliga lösningar. Nya miljökrav, förordningar och nya kundkrav som syftar till ett hållbart samhälle har en enorm inverkan på framtida produkter och produktframtagning. Dagens och morgondagens fordon är baserade på mer miljövänliga framdrivningssystem och kommer t.ex. att använda el och batteriteknik i en högre grad än tidigare och detta kommer att resultera i en dramatiskt ökad användning av komplexa kablar och slangar. Även utmaningar som låg bränsleförbrukning och låga CO<sub>2</sub>-nivåer kommer att fortsätta att driva på utvecklingen mot lättare fordon med lätta komponenter. Till exempel kommer metalldelar när det är möjligt att ersättas med polymerer. Polymerer i allmänhet används i en mängd olika industriella tillämpningar och produkter på grund av låg densitet, relativ styrka och formbarhet. Sammantaget skapar dessa trender utmaningar under konstruktion, verifiering och produktion. För den virtuella produktframtagningen innebär detta nya och grundläggande krav på simuleringsförmågan av flexibla komponenter och nya material.

Fordonsindustrin i dag fokuserar på hybridlösningar med både konventionella förbränningsmotorer och batteridrivna elmotorer. Att anpassa nya komponenter relaterade till ellösningar i de redan idag tätt packade fordonen är svårt. En utmaning är att finna en godtagbar placering av det relativt skrymmande batteriet. Varje placering måste utvärderas med avseende på geometrisk interferens med andra discipliner och deras komponenter samt materialval av kablar och kablage (vikt och kostnad). Även monteringsaspekter måste beaktas tidigt under designfasen med avseende på genomförbarhet och ergonomi. Till exempel är montering av kablar och kablage svårt på grund av dolda dragningar, anslutningar, vikt och obekväma ergonomiska arbetsställningar. Många arbetsskador orsakas av denna typ av monteringsarbeten. Vidare är produktkvaliteten i hög grad beroende på utformningen för montering. Studier inom fordonsindustrin visar också att ca 25% av alla kvalitetsproblem är relaterade till flexibla delar och anslutande uppgifter. En annan utmaning med hybridlösningar är behovet av flera kylsystem; ett för den konventionella motorn och ett för elmotorerna och batterierna. Detta behov leder till en avsevärd ökning av luft- och vätskeslangar och elektriska cirkulationspumpar. För hybrider och eldrivna fordon är det viktigt att använda lättviktslösningar. Detta innebär nya material och en ökad andel komponenter med ökad formbarhet. I många fall skulle denna flexibilitet kunna utnyttjas vid monteringsanalys för att undvika överdrivna utrymmesbehov vid montering. Detta kräver emellertid exakt kunskap om sambandet mellan monteringskrafter och komponenters



deformationsbeteenden. Det finns också ett behov för att kontrollera hur de flexibla delarna kommer att bete sig under fordonets gång i förhållande till t.ex. frigång, slitage och skramlande ljud på grund av vibrationer.

På grund av kostnad, tidsaspekt, och minskat antal fysiska prototyper måste ovanstående utmaningar lösas med virtuella metoder. Fördelarna med en ökad simuleringskapacitet är störst för små serier och blandade produktionslinjer, vilket är ett troligt scenario för den svenska fordonsindustrin.

### 3. Syfte

Målet med projektet är snabbare produktrealiseringar av hybrider och helt elektrifierade lättviktsfordon. Målet är i synnerhet metoder och digitala verktyg för effektiv geometrisk packning och banplanering och analys för montering av flexibla delar som rör framdrivningssystem och lättviktslösningar.

Målet är också att projektets partnergrupp blir erkänd som en världsledande konstellation inom geometrisk packning och monteringsanalys av flexibla komponenter för hybrider och helt elektrifierade lättviktsfordon. Erkännandet bör gälla både för kortsiktiga industriella implementeringar och för långsiktig strategisk forskning.

### 4. Genomförande

Projektet har genomförts i fyra arbetspaket

- WP1: Geometrisk packning och design
- WP2: Banplanering och analys för montering
- WP3: Modellering och materialegenskaper
- WP4: Demonstrator och spridning av resultat

Mer i detalj,

#### ***4.1 WP1: Geometrisk packning och design***

I detta arbetspaket har fokus legat på nya algoritmer, verktyg och metoder som stödjer geometrisk packning och designen av flexibla komponenter såsom kylslangar och rör, elkablar och kablage. Detta är en av de mest utmanande (dvs. tidskrävande) och kritiska processer under framtagningen av nya framdrivningssystem. Placering, dragningar och delningspunkter av de flexibla komponenterna måste bestämmas med hänsyn till utrymme, vikt, effektivitet, livslängd, kvalitet och monteringslösningar.



Tillverknings- och monteringsrelaterad variation i materialstyvhet, densitet, klipp positioner kan drastiskt påverka formen på flexibla komponenter och därmed packningsanalysen. Idén inom robust konstruktion, att minimera effektvariationerna bör tillämpas. Metoder för att representera och utvärdera effekten av variationen i flexibla komponenter har därför utvecklats.

En annan uppgift har varit en utvidgning av matematiska klipp som kan låsa valfri kombination av frihetsgrader till mer realistisk typ av klipp. Detta ger en högre grad av exakthet i många simuleringssituationer.

Mycket arbete har lagts på att hitta metoder och former för utbyte av information rörande flexibla komponenter mellan olika IT-system. Det utvecklade modelleringspråket för kablage gör det möjligt att importera en redan designad flexibel komponent från ett annat CAD-system, förändra den och sedan göra en uppdatering.

För att stödja packning och design av flexibla komponenter har detta arbetspaket sammanfattningsvis fokuserat på (i) metoder och algoritmer för automatisk packning och design, (ii) simulering av dynamiska effekter, (iii) robust design och variationssimulering, (iv) modellering av nya typer av klipp, och (v) gränssnitt mot CAD-system.

#### ***4.2 WP2: Banplanering och analys för montering***

En av de främsta orsakerna till problem i slutmonteringsfabriken är relaterad till flexibla komponenter eftersom deras beteende har varit svåra att förutsäga med digitala verktyg. Därför har detta arbetspaket fokuserat på att utveckla nya algoritmer, verktyg och metoder som stödjer monteringsanalys av flexibla komponenter. Målet är att göra det möjligt att ta hänsyn till monteringsaspekterna så tidigt som möjligt för att säkerställa genomförbarhet, ergonomi och kvalitet.

En viktig aspekt i utformandet av monteringsprocessen är att säkerställa att det finns kollisionsfria monteringsvägar för alla komponenter. För att minska behovet av fysisk validering, använder fordonsindustrin digitala mock-upverktyg med kollisionskontroll för denna typ av analys. Men att manuellt verifiera genomförbarheten av monteringen med ett digitalt mock-upverktyg kan vara både svårt och tidskrävande. Därför är den senaste tidens utveckling av effektiva automatiska banplaneringsalgoritmer och verktyg för stela kroppar mycket motiverade. Vi har i detta projekt vidareutvecklat dessa algoritmer till monteringsplanering av flexibla material, innefattande även komplexa kablage. Kablar och slangar deformeras då medvetet vid montering.

Snabba banplaneringsalgoritmer bygger på effektiv kollisionstestning. Nya metoder för snabba kollisioner, avstånd och kontaktberäkning mellan rörliga flexibla komponenter och omgivande geometrier har utvecklats för detta ändamål.



För att stödja banplanering och analys för montering av flexibla komponenter kan man sammanfattningsvis säga att detta arbetspaket har fokuserat på (i) algoritmer för monteringsanalys och banplanering av flexibla komponenter, (ii) metoder för simulering av ytor, och (iii) snabba metoder för kollisioner och kontakter mellan flexibla komponenter.

### ***4.3 WP3: Modellering och materialegenskaper***

För att förutsäga deformationer och monteringskrafter relaterade till flexibla komponenter krävs detaljerad kunskap om materialegenskaper. I detta arbetspaket har vi utfört empiriska studier för att få detaljerad kännedom om materialegenskaper runt flexibla komponenter. Genom att fastställa standardiserade egenskaper och standardiserade testrutiner kan nu en ny flexibel komponent enkelt klassificeras för simulering. Dessa egenskaper är typiskt effektiv densitet, stretching, böjning och vridningsstyvhet.

Vissa delar är mycket komplexa och behöver modelleras på makronivå. Exempelvis består en högspänningskabel eller ett kablage av trådar hopbundna till kablar och som i sin tur sätts samman till ett knippe. Att böja och släppa en sådan del resulterar ofta i en permanent deformation. Anledningen till detta är att böjningen gör att de enskilda trådarna börjar glida och tvinnas. Därefter förhindrar friktionen trådarna från att vridas tillbaka, vilket skapar en permanent deformation. Eftersom antalet trådar kan vara flera tusen, är det inte möjligt att göra realtidssimulering på dem alla. I stället bör de ersättas av en kabel med de aggregerade egenskaperna från ett kablage, inklusive plastiska effekter.

Eftersom batterierna och elmotorerna behöver omfattande kylning har vi också arbetat med hur man modellerar och simulerar flexibla komponenter som utsätts för tryckluft under olika temperaturförhållanden.

För att stödja kunskapsuppbyggnad om modeller och materialegenskaper av flexibla komponenter har detta arbetspaket fokuserat på att (i) fastställa standard för materialegenskaper definitioner och testrutiner, (ii) skapa en databas över materialegenskaper, (iii) metoder för realtidssimulering av icke-linjära materialbeteenden, (iv) simulera tryckutsatta slangar i olika temperaturförhållanden, (v) beräkningsmodell för aggregering av materialegenskaper av komplexa kablage, och (vi) validering av simuleringsresultat.

### ***4.4 WP4: Demonstrator och spridning av resultat***

Projektets resultat har kontinuerligt implementerats i IPS programvarudemonstrator för projektdeltagarna. Detta sätt att arbeta har visat sig garantera nyttan av projektresultaten både under och efter ett projekt. Resultaten har också ytterligare spridits i tidskrifter, via konferenser, seminarier och masterskurser på Chalmers, se avsnitt 6.



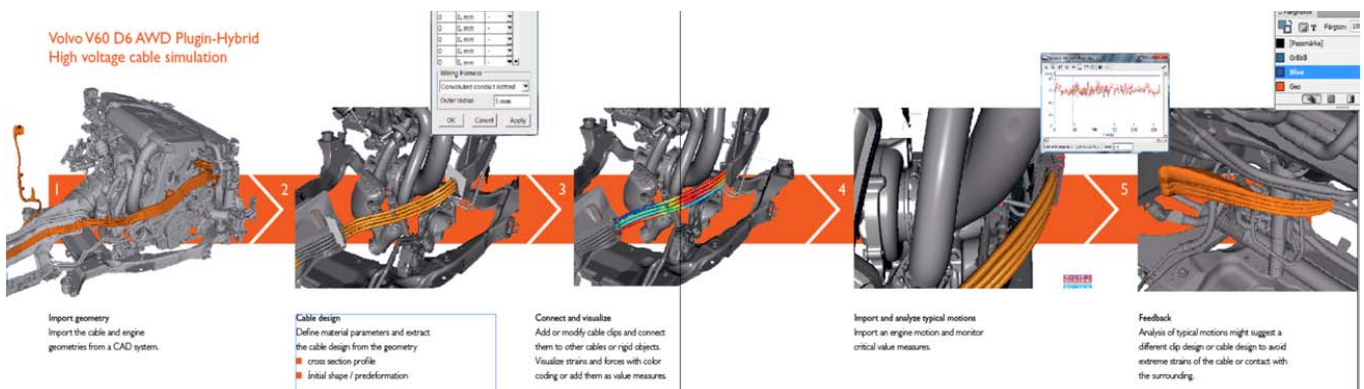
## 5. Resultat och leveranser

De viktigaste tekniska resultaten och leveranser från projektet är (i) mjukvarustöd för robust design och variationssimulering av flexibla komponenter, (ii) ny metod för automatisk draging av kablar och slangar med hänsyn tagen till tillverkningsbegränsningar, (iii) en Harness Modelling Description (HMD) för simulering som möjliggör en effektiv kommunikation med olika IT-system, (iv) en metod för automatisk banplanering för kablagemontering, (v) stöd för avancerad mekanismklipps generering och lagring, (vi) en modell för realtidssimulering av plasticitet, (vii) testrutiner för materialdata, (viii) en kabeldatabas, (ix) en kalkylator för aggregering av materialegenskaper för komplexa kablage, (x) förbättrade avstånd och kontakthanteringsberäkningar för flexibla komponenter och (xi) åtta vetenskapliga publikationer.

Resultaten kommer att vara fullt implementerade hos våra industriella partners under 2013 och 2014 och kommer att ta simulering av flexibla komponenter i (i) motorpackning och design, (ii) monteringsplanering, (iii) kablagedesign och tillverkning, samt (iv) robot slang till nästa nivå.

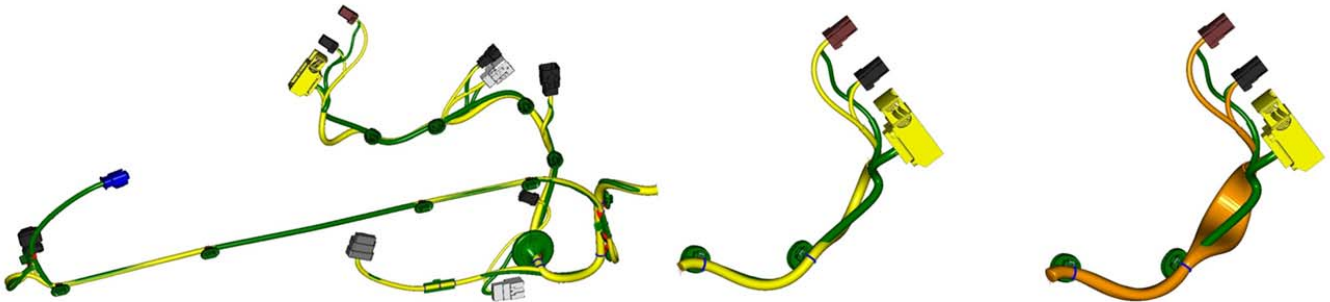
Några höjdpunkter inom industriella tillämpningar och effekter som har kommit till nytta redan idag är:

### ➔ Elmotorpackning och design av Volvo V60 D6 AWD Plugin-Hybrid High Voltage Hybrid.





## ➔ Design och analys av komplexa kablage på Delphi

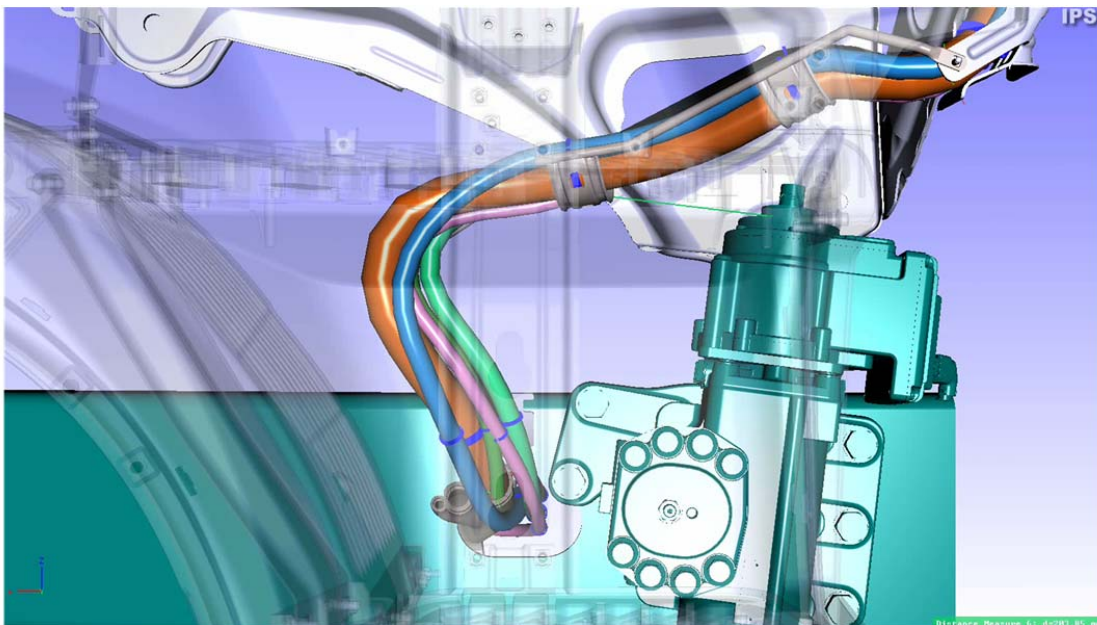


Harness shape simulation and comparison with 3D-routing.

Deviation between 3D-routing and physical 3D-routing.

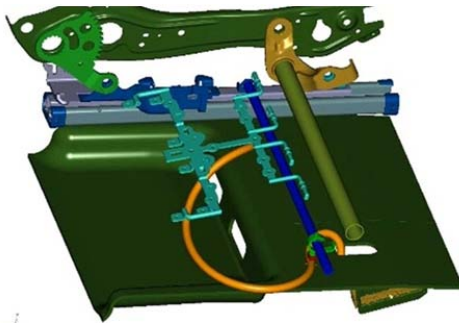
Calculated installation space with tolerances.

## ➔ Tippning av hytt på Volvo Lastvagnar

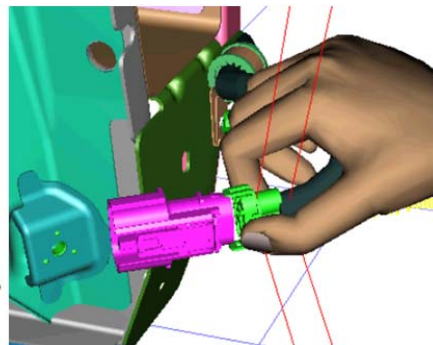


Simulation contains a movable component (driver's cab) and a fixed part (vehicle body) of the scene

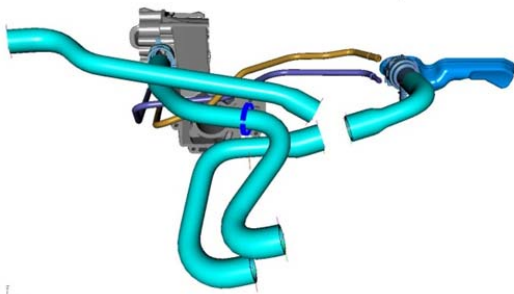
- ➔ Interaktion mellan IPS och NX liksom IPS och Jack, komplexa dynamiska undersökningar, generering av HMD-fil för bakluckemontering vid Opel / GM



*NX sits kinematik överförd till IPS*



*IPS integrerad i Siemens Jack*



*Värmeslangar i rörelse*



*Bakluckemontering med HMD*

Andra industriella verksamheter:

Exempel på aktiviteter hos OEM projektpartners:

- Metoder för optimering/minskning av längden på rör och slangar. Detta har gett en minskning av vikt och kostnad i fordonen.
- Metoder för optimering/minskning av fästningspunkter för kablage för att undvika eller minimera slitageeffekter.
- Användning av IPS för analyser av skavrisk kopplad till kabel- och kablagedesign och konstruktion av hydrauliska slangar (i hjullastare).
- Användning av IPS i analyser av risk för skav- och sammanstötning av flexibla komponenter under motorsänk i motorrummet.
- 50-70 IPS dagliga basanvändare (flexibla analyser i kombination med banplanering) är, som ett resultat av projektet, nu aktivt hos samtliga projektpartnerbolag.



Exempel på aktiviteter hos Delphi:

- **Kablageformssimuleringar (omvandling från 2D till 3D monteringsläge):**  
En simuleringsmetod för att kontrollera, optimera och verifiera kablagedesign och layout av olika kablage.
- **Simulering av monteringssekvensen av en High Speed Data kontakt:**  
En simuleringsmetod i syfte att identifiera den bästa lösningen baserad på deformationer, struktur och ställning för tvinnade trådar av en datakabel inuti en avskärmning.
- **Utredning av kablagedragning i ett kritiskt område:**  
Dragning av en kablagedel i ett område med mycket begränsat utrymme har simulerats med IPS i syfte att undersöka om den aktuella dragningen och fixeringen av segmentet genom en kabelkanal skulle kunna ersättas av en ny dragning med en eller två klipp. Flera olika simuleringar av kablagesegmentet med ett eller två klipp har satts upp för att hitta den bästa klippslösningen mot möjlig kollision av kablage med omgivande geometri och topologi av kablagedragningen.

### ***5.1 Bidrag till FFI-mål***

- Projektet har utvecklat metoder, algoritmer och verktyg som möjliggör produktivitetöknings på 20% i packningsdesign och 10% i produktionsteknik av flexibla komponenter. Även en produktivitetöknings på 2-3% i slutmonteringen av flexibla delar, med snabba och exakta konsekvens- och optimeringsstudier förväntas vid fullt genomslag av de utvecklade metoderna.
- Vidare syftar metoder och verktyg i projektet till att minska materialåtgången och öka utrustningens livslängd. På detta sätt stöder resultaten direkt hållbar fordonsproduktion genom att minimera de resurser som krävs för att producera varje objekt.
- Resultaten snabbar markant upp produkt- och produktionsutvecklingsprocess. På detta sätt bidrar projektet till en fortsatt konkurrenskraftig fordonsindustri i Sverige.
- Den matematikbaserade simuleringsstrategin i det här projektet är en nyckel för att möta utmaningen med ökad komplexitet i produkt- produktionsutveckling kopplat till nya miljökrav.
- Ökar användningen av och förståelsen för avancerad matematik inom produkt- och produktionsutveckling.
- Ökat samarbete mellan industri, universitet och forskningsinstitut.
- Projektet kommer resultera i en doktorsexamen vid FCC/Wingquist Laboratory vid Chalmers.
- Projektet har stärkt Sveriges konkurrenskraft ytterligare som avancerad användare och utvecklare av digitala verktygsmetoder inom produkt- och produktionsutveckling.

- Forskargruppen för geometri och rörelseplanering på FCC, som är en del av Wingquist Excellence Center vid Chalmers för effektiv produktframtagning (miljö för innovation och samarbete), har stärkts ytterligare från 9 (2009) till 18 forskare.
- Mjukvaruplattformen IPS för matematikbaserad virtuell produktframtagning har vidareutvecklats och kommer att fortsätta att säkerställa heltäckande och snabb implementering av forskningsresultat, samt underlätta teknikutbyte mellan industriella partners.

## 6. Spridning och publicering

### 6.1 Kunskaps- och resultatsspridning

Det finns ett stort intresse över hela världen för den utvecklade tekniken och programvaran, både från ett industriellt och akademiskt perspektiv. Projektresultat och demonstratorn har kontinuerligt spridits under företagsbesök, seminarier, t.ex

- Annons om forskningssamarbete och industriell påverkan, införd på sidan 3 i Göteborgs-Posten den 12 november 2009.
- Invited lecture in master course Robotics and Robot systems, Chalmers, april 2010.
- Presentation vid Manufuture Conference, Wingquist Laboratory, Göteborg, december 2010.
- Presentation vid Wingquist Laboratorys årliga seminarium, Göteborg, december 2010.
- Presentation vid Volvo Cars Manufacturing Research & Advanced Engineering seminarium, den 3 februari 2011.
- Invited lecture in master course Robotics and Robot systems, Chalmers, april 2011.
- Presentation på Scania, Södertälje, 2011.
- CIRP International Conference on Computer Aided tolerancing, Huddersfield, Storbritannien, 2012.
- Gästföreläsning i master course Virtual Process Planning, Chalmers, February 2012.
- Gästföreläsning i master course Robotics and Robot systems, Chalmers, april 2012.
- Mötesplats för framtidens framgångsrika verkstäder, Katrineholm, maj 2012.
- Presentation 4th CIRP Conference on Assembly Technology and Systems - CATS 2012, University of Michigan, Ann Arbor, USA, den 21 – 23 maj, 2012.
- Presentation på Ford Motor Company, maj 2012.
- Presentation på Daimler, Ulm, november 2012.
- Presentation vid Wingquist Laboratorys årliga seminarium, Göteborg, december 2012.



- Gästföreläsning i master course Virtual Process Planning, Chalmers, February 2013.
- Gästföreläsning i master course Robotics and Robot systems, Chalmers, april 2013.

Samarbetet rörande virtuell produktframtagning med Wingquist Laboratory vid Chalmers och dess VINNEX Centre kommer att fortsätta. Detta är en utmärkt plattform för ytterligare spridning, både inom industrin och akademien.

## **6.2 Publikationer**

1. Andersson, F., "Surface interpolation for detail restoration", Master thesis, supervisors Andersson R., Hermansson T. and Johansson B., Chalmers, June 2009.
2. Bitar, F., "Adaptive Bounding Volume Hierarchies for Deformable Surface Models", Master thesis, supervisors Shellshear, E. and Assarsson, U., Chalmers 2011.
3. Hermansson, T., Carlson, J. S., Björkenstam, S., Söderberg, R., "Geometric Variation Simulation and Robust Design for Flexible Cables and Hoses", CIRP International Conference on Computer Aided tolerancing, Huddersfield, UK, 2012.
4. Weischedel, C., Tuganov, A., Hermansson, T., Linn, J., Wardetzky, M., "Construction of discrete shell models by geometric finite differences", The 2nd Joint International Conference on Multibody System Dynamics, Stuttgart, Germany, on May 29–June 1, 2012.
5. Hermansson, T., Bohlin, R., Carlson, J. S., Söderberg, R., "Automatic path planning for wiring harness installations (wt)", 4th CIRP Conference on Assembly Technology and Systems - CATS 2012, University of Michigan, Ann Arbor, USA on May 21-23, 2012.
6. Shellshear, E., Bitar, F., Assarsson, U., PDQ: Parallel Distance Queries for Deformable Meshes, Graphical Models (2013), doi: 10.1016/j.gmod.2012.12.002.
7. Hermansson, T., Carlson, J.S., Björkenstam, S., Söderberg, R., "Geometric variation simulation and robust design for flexible cables and hoses", Journal of Engineering Manufacture Volume 227 Issue 5, May 2013.
8. Hermansson, T., Bohlin, R., Carlson, J.S., Söderberg, R., "Automatic assembly path planning for wiring harness installations", Journal of Manufacturing Systems, Available online May 2013.
9. Schaub, M., Uthoff, J., "Virtual Analysis of Compliant Parts", SAE Int. J. Mater. Manuf. 4(1):799-807,2011, doi:10.4271/2011-01-0531.
10. Schaub, M., Ruppert, W. and Laugwitz, U., "Compliant Parts Simulation Procedure", SAE Int. J. Commer. Veh. 5(1):318-326, 2012, doi:10.4271/2012-01-0948.

## 7. Slutsatser och fortsatt forskning

Algoritmerna, verktygen och metoderna för att stödja monteringsplaneringen kommer att fortsätta att utvecklas. Framför allt kommer det framgångsrika testet för att kombinera simulering av flexibla komponenter med virtuell ergonomi gjort på GM under sommaren 2012 fortsätta. Simuleringstekniken är också en integrerad del av det pågående EU-projektet VISTRA som syftar till utbildning inom virtuell montering inklusive flexibla komponenter.

Många industrirobotar är utrustade med kablar och slangar som matar verktyget med signaler, ström, tryckluft, skruvar, färg och tätningsmaterial. Dessa slangar och kablar har signifikant påverkan på de tillåtna robotkonfigurationerna och rörelserna på en robotstation. Idag tillhandahåller robottillverkarna tumregler för hur man kan undvika höga påfrestningar och kollisioner undviks genom erfarenhet och on-line justeringar. Men, ett pågående arbetet syftar till att kombinera realtidssimulering av kablar med FCC-teknik för automatisk banplanering och linebalansering. Strategier för att hitta genomförbara robotkonfigurationer och rörelser med hänsyn till cykeltid och livslängd för kablar är en del av ett examensarbete tillsammans med Volvo Personvagnar och som kommer att presenteras i juni 2013.

Det finns också diskussioner i projektgruppen om att fortsätta det framgångsrika samarbetet i ett industriellt konsortium. Tanken är att dela kostnader för nyutveckling och materialmätningar. Gruppen kommer kanske också att utökas genom deltagande av t.ex. Ford Motor Company och Scania.



## 8. Deltagande parter och kontaktpersoner

Projektet har varit ett samarbete med de industriella parterna Volvo Car Corporation, Volvo AB, Delphi och forskningspartnern Fraunhofer-Chalmers Center (FCC). Ett samarbetsavtal med GM som gett extra medel har också varit en viktig del av projektet. En styrgrupp med en representant från varje part har utsetts för ledning av projektet. Den har varit ansvarig för projektstyrning, ekonomi och rapportering till VINNOVA. Den dagliga projektledningen har hanterats av Lennart Malmsköld, Volvo AB (industriell projektledare) och Johan S. Carlson, FCC (akademisk projektledare).

Name	Role	Organisation	E-mail and Phone
Lennart Malmsköld	Project leader, Industrial partner	AB Volvo	<a href="mailto:Lennart.Malmskold@volvo.com">Lennart.Malmskold@volvo.com</a> +46-313224603
Dan Lämkuill	Industrial partner	Volvo Cars	<a href="mailto:dan.lamkuill@volvocars.com">dan.lamkuill@volvocars.com</a>
Klaus Kaufmann	Industrial partner	Delphi	<a href="mailto:klaus.kaufmann@delphi.com">klaus.kaufmann@delphi.com</a>
Robert Tilove	Industrial partner	GM	<a href="mailto:robert.tilove@gm.com">robert.tilove@gm.com</a>
Johan S. Carlson	Research leader	Fraunhofer-Chalmers Centre	<a href="mailto:johan.carlson@fcc.chalmers.se">johan.carlson@fcc.chalmers.se</a> +46-31-7724289



**DELPHI VOLVO**

Fraunhofer



**CHALMERS**  
Research Centre  
Industrial Mathematics