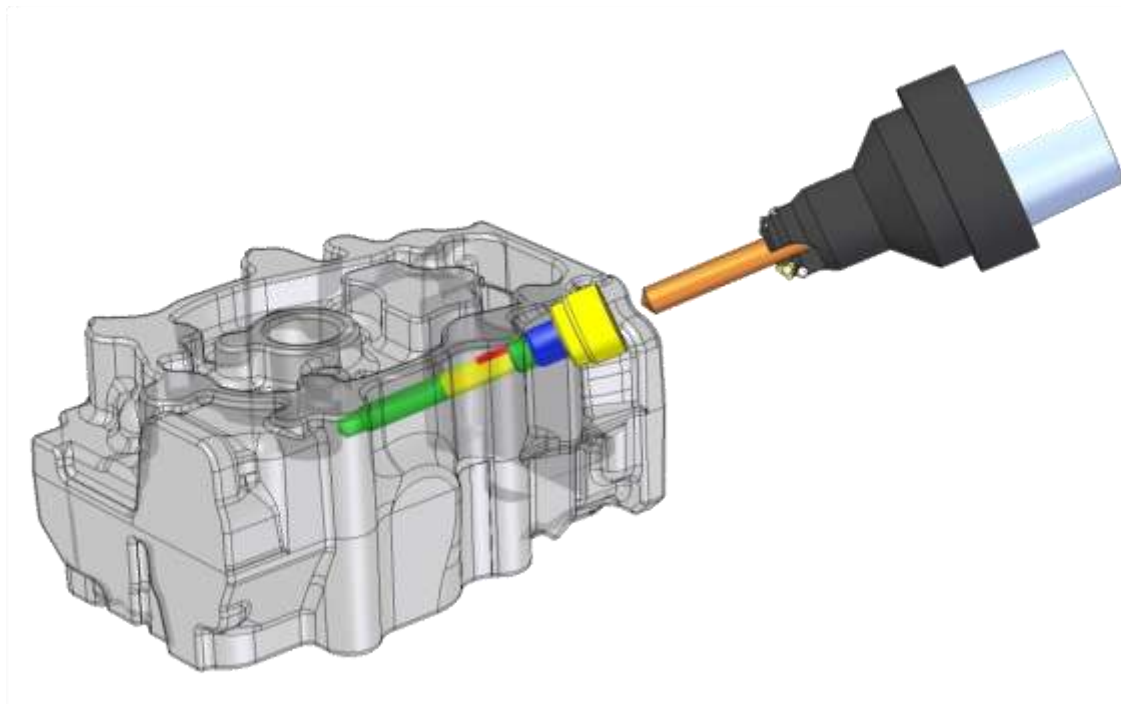


**FFI**

FORDONSSTRATEGISK  
FORSKNING OCH INNOVATION

# Feature based operation planning



Författare Magnus Lundgren  
Datum 2013-07-30  
Delprogram Hållbar produktionsteknik

## 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>6</b>
4.1 Projektstruktur – Arbetspaket .....	6
4.2 Tillvägagångssätt.....	8
4.3 Samverkan.....	8
<b>5. Resultat .....</b>	<b>9</b>
5.1 Bidrag till FFI-mål .....	12
<b>6. Spridning och publicering.....</b>	<b>13</b>
6.1 Kunskaps- och resultatspridning .....	13
6.2 Publikationer .....	14
6.3 Utbildning .....	15
6.4 Annan spridning av projektresultat .....	15
<b>7. Slutsatser och fortsatt forskning.....</b>	<b>15</b>
<b>8. Deltagande parter och kontaktperson .....</b>	<b>17</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

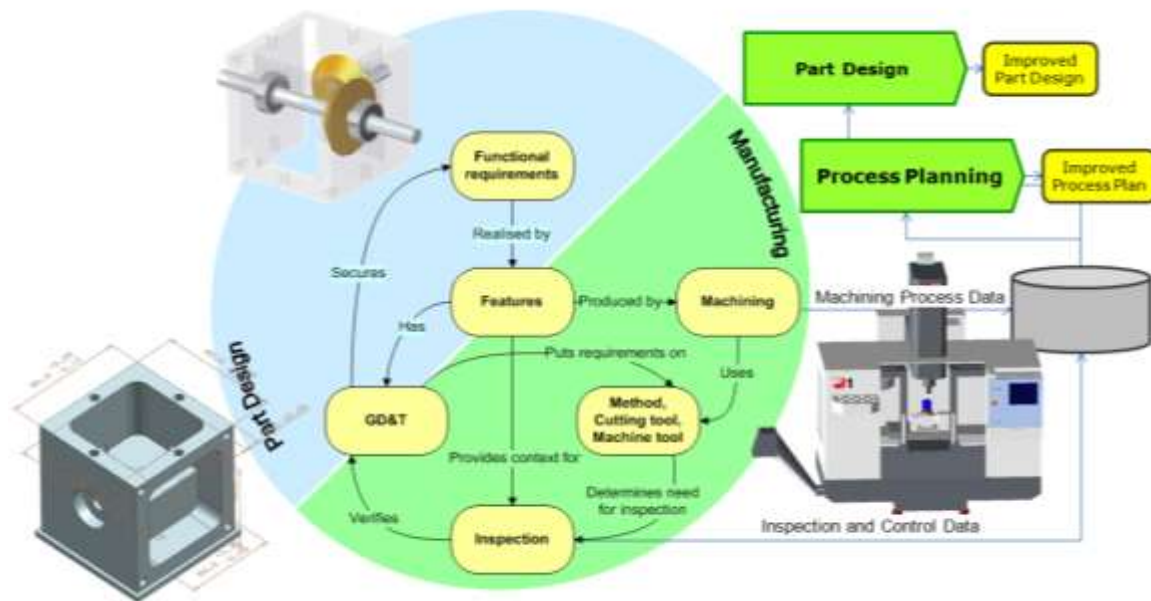
Detta projekt har syftat till att ta fram ny kunskap och utveckla teknik som möjliggör för svensk fordonsindustri att på ett konkurrenskraftigt sätt bedriva kunskapsbaserad produktion i Sverige och därigenom medverka till en fortsatt konkurrenskraftig fordonsproduktion i Sverige. Projektets utgångspunkt var att verka för och främja utveckling av effektiv datorstödd produktionsberedning. Produktionsberedning är en mycket central process i ett tillverkande företag och syftet med denna är att utveckla bästa möjliga tillverkningslösning. Omfattningen av produktionsberedning kan därför vara stor, alltifrån konceptuell beredning till detaljerad operationsberedning. Detta projekt har fokuserat på modelldriven formelementbaserad operationsberedning. Med modelldriven menas ett arbetssätt i vilket man använder digitalt representerade modeller av produkter, råämnen, fixturer, verktyg, maskiner m.m. som tillhandahåller information om material, formelement, tillverkningskrav och toleranser m.m. En grundtanke i det modelldrivna arbetssättet är att produkten kan beskrivas som bestående av olika formelement (plan, hål, spår m.m.) för vilka det finns olika metoder att framställa dem med. Vilken metod som är mest lämpad avgörs dels av de tillverkningskrav och toleranser som finns angivna, men också utifrån beredarens erfarenhet och vilken praxis som råder på det tillverkande företaget. Ett grundläggande syfte med det modelldrivna arbetssättet är att med datorteknik och programvara för framtagning, visualisering och interaktion med modeller stödja mänskligt kunnande och expertis. Under projektet har forskargruppen i samarbete med industripartners och systemleverantörer undersökt tillämpbarheten av modelldriven operationsberedning genom kartläggning av industrins behov, studier av tillgänglig programvara för operationsberedning, samt studier av internationella standarder för informationsmodellering för produkt-, process- och resursrepresentation. Industrins behov har kartlagts genom workshops, studiebesök och gemensamma arbetsmöten. Systemleverantörspartnerna i projektet har i olika workshops samt i mindre enskilda projekt tillsammans med de deltagande tillverkningsföretagen demonstrerat vad deras beredningssystem är kapabla till. Utifrån detta har forskningsutförarna formulerat idéer och förslag på aktiviteter att genomföra som presenterats och diskuterats vid regelbundna gemensamma arbetsmöten. Baserat på återkoppling från industrideltagarna har dessa förslag och idéer sedan vidareutvecklats till flera olika prototypapplikationer för demonstration av modelldriven operationsberedning. Projektet har också samarbetat med FFI-projekten Digital Factory och Robust Machining, samt deltagit i internationellt samarbete gällande informationsmodellering. Ett samarbete där projektet har levererat viktiga bidrag inom området kinematikrepresentation. Resultaten från detta projekt är i ett långsiktigt perspektiv viktiga bidrag för att öka produktiviteten och kvaliteten inom operationsberedning och i tillverkningsprocessen.

Det nära samarbetet mellan forskningsutförarna och industrideltagarna i projektet har bidragit till att bibehålla och i viss mån också förstärka de sedan många år goda relationerna mellan svensk produktionsforskning och svensk fordonsindustri. Genom olika demonstrationer, har projektet inte bara kommunicerat möjliga fördelar med ett modelldriven operationsberedning till industrin. Projektet har dessutom visat att det är möjligt att genomföra den demonstrerade funktionaliteten baserat på systemneutrala internationella standarder för informationsmodellering. De flesta av projektets demonstrationer har också uppmärksammats internationellt och erkänts som viktiga bidrag inom Virtual Manufacturing. Svensk produktionsforskning inom informationsmodellering för industriell tillämpning har internationellt sett en framstående position. För att bibehålla denna position är det därför viktigt att fortsätta med forskning inom modelldriven beredning, där ett lämpligt område att fortsätta denna forskning är Production Part Approval Process (PPAP). PPAP används inom fordonsindustrin för att skapa förtroende för komponentleverantörer och deras tillverkningsprocesser och syftet med PPAP är att säkerställa att en leverantör har förstått alla produkt- och tillverkningskrav för de komponenter de levererar, och att leverantörens tillverkningsprocess är kapabel att tillverka produkter enligt angivna produkt- och tillverkningskrav. Nuvarande PPAP är dock en arbetsintensiv process där produktionsberedare måste ägna värdefull tid på det icke värdeskapande arbetet med att ta fram alla de nödvändiga dokument PPAP kräver. Att ersätta dagens arbetskrävande och dokumentbaserade PPAP med en modellbaserad dito skulle effektivisera nuvarande PPAP och öka produktiviteten inom såväl produktionsberedning samt i produktionen.

## 2. Bakgrund

Effektiv produktionsberedning är en förutsättning för konkurrenskraftig produktion av innovativa, miljöhållbara och säkra produkter. Syftet med produktionsberedningsprocessen är att hitta den mest produktiva tillverkningslösningen och produktionsberedning kan omfatta allt från konceptuell beredning (finna lämplig teknik för att framställa en viss del av en produkt eller hela produkter) till detaljerad operationsberedning (definiera tillverkningsoperationer, bestämma operationsföljd, ta fram detaljerade processparametrar, definiera bearbetningsverktyg, uppspanningar och maskiner etc.). Formelementbegreppet utgör i datorstödd beredning (CAM) en grundbult i att möjliggöra semantisk beredning och tillverkning. Formelement är i såväl konstruktion som i tillverkning ett sätt att ge en viss produktgeometri en semantisk innebörd. Med definierade formelement som t.ex. hål, fickor, faser, gängor och spår etc. är det möjligt att relatera bearbetningsprocesser (börning, fräsning, svarvning m.m.) med kapabilitet att förverkliga funktionsavsikten med formelementet, semantiskt uttryckt i dess utformning, mått, toleranser och andra tillverkningskrav. Konstruktions- och tillverkningskunskap kan på sått formaliseras och kommuniceras genom formelement, vilka samtidigt också erbjuder en möjlighet att återkoppla tillverkningsprocesser i ett tydligt sammanhang, något som tillsammans med ett strukturerat arbetssätt för ständiga förbättringar är nyckelkomponenter för att bibehålla konkurrenskraften över tiden

(Figur 1). Att arbeta med standardiserade processer är en beprövad metod att uppnå hög repeterbarhet och förutsägbarhet för produktions- och tillverkningsprocesser. Standardiserat arbetssätt är dessutom också en förutsättning för att genomföra ständiga förbättringar. Genom att hantera företagspecifika formelement och tillhörande tillverkningsprocesser på ett ändamålsenligt och korrekt sätt kan man samtidigt också bevara och utveckla företagets intellektuella kapital. Med hjälp av effektivare och mer ändamålsenliga verktyg för datorstöd beredning, kan mer kraft läggas på det värdeskapande och intellektuella arbetet inom operationsberedning för hållbar produktion.



Figur 1: Formelement, en grundläggande del i semantisk beredning och tillverkning

## 3. Syfte

Projektets långsiktiga målsättning har varit att bidra till att skapa grunden för en flexibel, hållbar och konkurrenskraftig tillverkning av dagens och morgondagens fordonskomponenter och produkter i Sverige, i vilken effektiv och kvalitativ operationsberedning utgör en viktig aktivitet. Som det framgår av namnet har projektet ett tydligt fokus på formelement vilket utgör en semantisk grundsten i modelldriven operationsberedning. För att svenska fordonstillverkare skall förbli konkurrenskraftiga på den globala marknaden verkar på så krävs både innovativ teknik samt duktiga och kreativa medarbetare, vilka definitivt är en viktig tillgång i alla tillverkande företag. I modelldriven operationsberedning används digitalt representerade modeller av produkter, råämnen, verktyg, fixturer m.m., som bär information om formelement, material, dimensioner och tillverkningskrav m.m. vilken används i operationsberedning vid t.ex. val av bearbetningsmetod, val av uppspännings- och operationsföljd m.m. Korrekta modeller som representerar intressanta och viktiga egenskaper hos de verkliga produkterna och

tillverkningssystemet (maskiner, verktyg, fixturer, processer m.m.) möjliggör simulering och verifiering av tillverkningen. Något som sammantaget bidrar till att man med hjälp av Virtual manufacturing kan förkorta ledtiden för introduktion av nya produkter. Genom att göra första detaljen rätt så reduceras inte bara ledtid och ramp-up, utan även miljöpåverkan i hela tillverkningsprocessen kan reduceras. Modeller är som sagt informationsbärare i det modelldrivna arbetssättet men det är skickliga, kompetenta och erfarna människor som tar de viktiga besluten i modelldriven operationsberedning. Ett viktigt syftet med det modelldrivna arbetssättet är därför stödja skickliga beredare i deras arbete med hjälp av programvara för att skapa, visualisera och interagera med modeller (Figur 2).



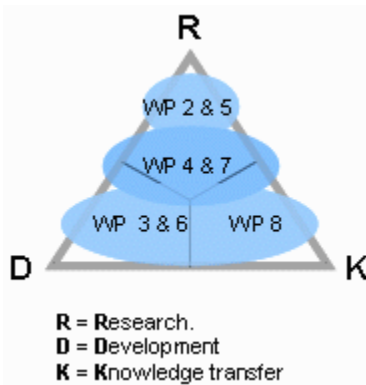
Figur 2: Grundstenar i modelldriven operationsberedning

## 4. Genomförande

Forskarna har i projektet, i samarbete med industripartners och systemleverantörer, undersökt tillämpbarheten av modelldriven operationsberedning genom att kartlägga industrins behov, studera beredningssystem och deras kapacitet, samt studera internationella standarder för informationsmodellering av produkt-, process- och resursrepresentation. Det sistnämnda har varit en viktig del i projektet då användande av systemneutrala modeller baserade på internationell standard medför att tillverkningsinformationen kan göras transparent oavsett vilka system som används. Ett konsekvent användande av standards kan dessutom reducera icke värdeskapande omarbetning av modeller och säkra datalivslängden. Då det i dagens och morgondagens fordonsproduktion, som kännetecknas av samverkan mellan fordonstillverkare och olika underleverantörer, inte kan förväntas att alla parter i leverantörskedjan ska ha samma typ av datorsystem, har valet att förorda och använda internationella standarder och öppna CAD/CAM och CNC-system före proprietära lösningar, varit ett strategiskt beslut i projektet för att nå uppställda mål.

### 4.1 Projektstruktur – Arbetspaket

Projektet har organiserats i åtta olika arbetspaket – eller Work Packages (WP) på engelska, var och en (med undantag för WP 1) kategoriserat (Figur 3) som antingen i huvudsak inriktat på forskning, utveckling eller kunskapsöverföring. För enkelhetens skull används här de engelska benämningarna på arbetspaketen. Innehåll och syfte med respektive arbetspaket framgår av ändå av dess beskrivning.



Figur 3: Projektets arbetspaket

### **WP 1: Project coordination and result dissemination**

Syftet med WP 1 var att koordinera projektinsatser, sprida projektresultat, organisera workshops, arbetsmöten, ta fram lägesrapporter, författa publikationer och skriva projektrapporter.

### **WP 2: Product modelling**

Syftet med WP 2 var att studera ISO 10303 standarden för produktdatarepresentation, speciellt de sätt som viktiga tekniska krav, funktionella egenskaper och ytor, dimensioner och toleranser, yt- och materialegenskaper, tillverkningsinformation och noter etc., kan representeras genom standarden.

### **WP 3: Manufacturing feature library**

Syftet med WP 3 var att studera principer för hur man kan definiera och klassificera företagsspecifika formelement och relatera dem till bearbetningsoperationer, men också vilka möjligheter som finns att göra detta i tillgängliga system för featurebaserad operationsberedning.

### **WP 4: Manufacturing rules for decision support**

Syftet med WP 4 var att utvärdera principer för att definiera bearbetningsregler och metoder att formulera regler genom användande av i sammanhanget korrekt terminologi och relevanta begrepp, samt undersöka State Of the Art för regelhantering i tillgängliga beredningssystem.

### **WP 5: Manufacturing ontology**

Syftet med WP 5 var att utveckla metoder för att definiera, representera och tillämpa företagsspecifika begrepp och motsvarande terminologi i operationsberedning, samt studera hur man kan använda ontologier för olika områden, som t.ex. produktmodeller, formelement, tillverkningsprocesser och tillverkningsresurser, i bearbetningsregler och vid operationsberedning..

### **WP 6: Information platform for operation planning**

Syftet med WP 6 var att utifrån resultat från de forskningsinriktade arbetspaketen utveckla datorapplikationer som, kan användas för att demonstrera modelldriven formelementbaserad operationsberedning i vilken man använder information representerad i produkt- och resursmodeller (verktygsmaskiner, skärande verktyg, fixturer etc.)

### **WP 7: Model driven operation planning**

Syftet med WP 7 var att demonstrera olika möjligheter att förbättra produktivitet och produktkvalitet vid beredning och produktion i produktionsceller och maskinlinor genom användande av ett modelldrivet arbetssätt.

### **WP 8: Demonstrator**

Syftet med WP 8 var att utvärdera tillgänglig programvara för operationsberedning och att demonstrera modelldriven operationsberedning på verkliga produkter som tillverkas av de olika industrideltagarna i projektet.

## **4.2 Tillvägagångssätt**

Det grundläggande tillvägagångssättet för arbetet i projektet har varit att utifrån studier av industrideltagarnas behov, vilket till viss del till exempel finns implicit representerat i de olika demonstratorerna (WP 8), och utifrån detta bestämma vad för slags aktiviteter som ska utföras av forskarna i projektet. Det har också genomförts regelbundna gemensamma arbetsmöten och workshops vid vilka industrins behov har diskuterats och där olika forskningsidéer och förslag på hur man möter dessa behov har presenterats. Baserat på återkoppling från industrideltagarna har dessa idéer sedan vidareutvecklas. Forskarna har utvecklat prototypapplikationer som använts för att demonstrera modelldriven operationsberedning. Systemleverantörsdeltagarna i projektet har dessutom i ett par workshops demonstrerat vad deras respektive beredningssystem är kapabla till. De har också haft viss samverkan med industrideltagarna där målsättningen har varit att bättre förstå industrins behov och validera sina beredningssystem gentemot de krav och önskemål industrideltagarna presenterat. Idéer och resultat från projektet har också presenterats och diskuterats inom det internationella samarbetet i ISO / TC 184/SC 4 och STEP manufacturing- gruppen.

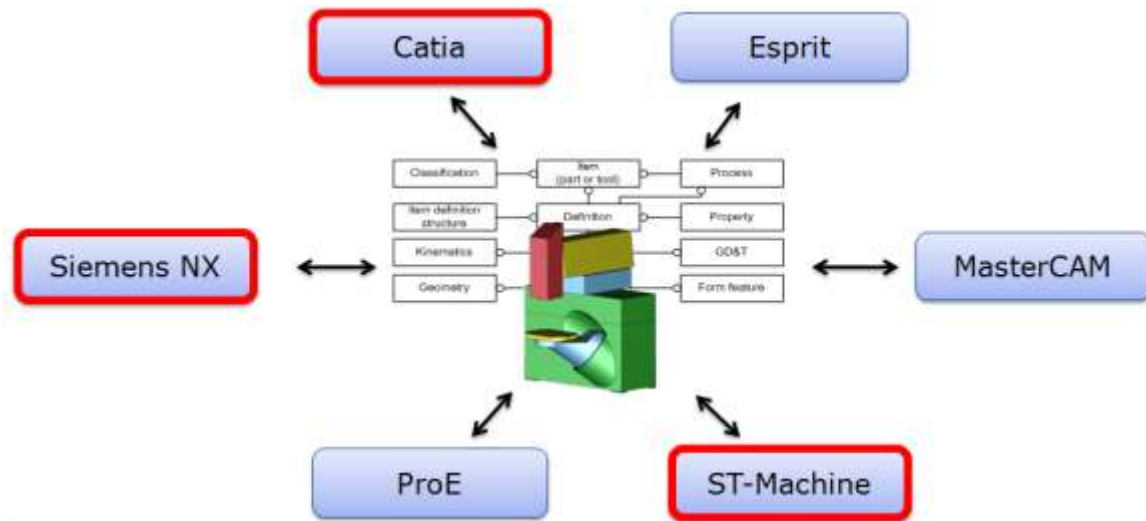
## **4.3 Samverkan**

Projektet har haft samarbete med två andra FFI-projekt, Digital Factory Building Blocks och Robust Machining, och där utfört gemensamt arbete inom området verktygsmaskinsmodellering. Dessutom har projektet också medverkat internationellt i samarbete om informationesmodellering inom ISO / TC 184/SC 4 där projektet till exempel har levererat viktiga bidrag inom området kinematikrepresentation med ISO 10303. Projektet har också bedrivit samarbete med Boeing och NIST angående modellbaserad bedömning av bearbetningsnoggrannhet i styrda verktygsmaskiner. Resultaten av detta samarbete presenterades i form en bearbetningsdemonstration vid det internationella ISO / TC 184/SC 4 som hölls i Stockholm i juni 2012.



## 5. Resultat

Förutom de mer allmänt formulerade FFI-målen som projektet syftade till att uppfylla fanns det också angivet för varje arbetspaket ett antal specifika mål, eller leveranser som respektive arbetspaket skulle resultera i. Här återges i korthet några viktiga projektresultat medan övriga projektleveranser i sin helhet i stället beskrivs mer utförligt i projektets tekniska rapport. Som beskrivs i avsnitt *4.1 Projektstruktur - Arbetspaket*, var de olika arbetspaketen kategoriserade som antingen inriktade på forskning, utveckling eller spridning av projektresultat. Ganska uppenbart beror t.ex. resultaten av de arbetspaket som fokuserar på utveckling och spridning av resultaten från de arbetspaket som är mer forskningsinriktade. Andra faktorer som också har påverkat det faktiska resultatet är situationer där två eller flera projektdeltagare varit inblandade och skapat beroenden sins i mellan. Det är naturligtvis svårare att uppnå angivna mål om en eller flera inblandade deltagare inte har kunnat bidra som planerat. Under projektetiden har också två omfattande lågkonjukturer drabbat världsekonomin och de deltagande företagen som alla verkar på en global marknad. Dessa händelser har naturligtvis också påverkat deras förmåga att delta i projektet och genomföra de aktiviteter de planerat. Andra utmaningar som påverkat möjligheten att uppnå angivna mål i vissa arbetspaket är att de olika deltagande företagen har sina egna beprövade arbetsätt som befintliga CAM-system inte låter sig anpassas till utan relativt stor arbetsinsats. Ytterligare utmaningar som projektet ställts inför är förändringar inom de deltagande företagens organisationer som i vissa fall har lett till att personer med nyckelpositioner i både företag och projekt, samt deltagande experter från företagen fått ändrade arbetsuppgifter inom sitt företag eller slutat, något som också påverkat deras fortsatta deltagande i projektet. Allmänt betraktat har projektet varit mest framgångsrikt i de arbetspaket där forskarna har kunnat arbeta helt självständigt. Viktiga resultat att nämna här är naturligtvis arbetet inom WP 2 - Product modeling som har resulterat i ett antal vetenskapliga publikationer och en doktorsavhandling. I samarbete med FFI projektet Digital Factory Building Block och AB Volvo demonstrerades export/import av en verktygsmaskinmodell via STEP (*Figur 4*). I denna demonstration modellerades först en verktygsmaskin och dess kinematik i Siemens NX 7. Denna konverterades sedan till STEP-format och importerades till Dassault Catia V5 där maskinmodellen och dess kinematik kunde redigeras som vilken vanlig Catia-fil som helst. Verktygsmaskinmodellen i Catia konverterades därefter åter till STEP-format och användes för maskinsimulering av ett STEP-NC-program i ST-Machine, en STEP-NC läsare utvecklad av STEP Tools Inc. Denna demonstration blev internationellt erkänd som ett viktigt bidrag inom området Virtual Manufacturing, och det är i sammanhanget värt att nämna att projektets samarbete inom ISO / TC 184/SC 4 har bidragit till att göra Sverige och svensk forskning inom produktionsteknik och informationsmodellering för internationellt känd och respekterad. Delar av projektets forskningsresultat sammanställdes i en stor demonstration, som hölls på KTH under ISO / TC 184/SC 4 möte i Stockholm i juni 2012, och där forskargruppen i XPRES labbet demonstrerade modelbaserad bedömning av en verktygsmaskins bearbetningsnoggrannhet (*Figur 5*). I denna demonstration bearbetades ett smitt ämne för ett Scania



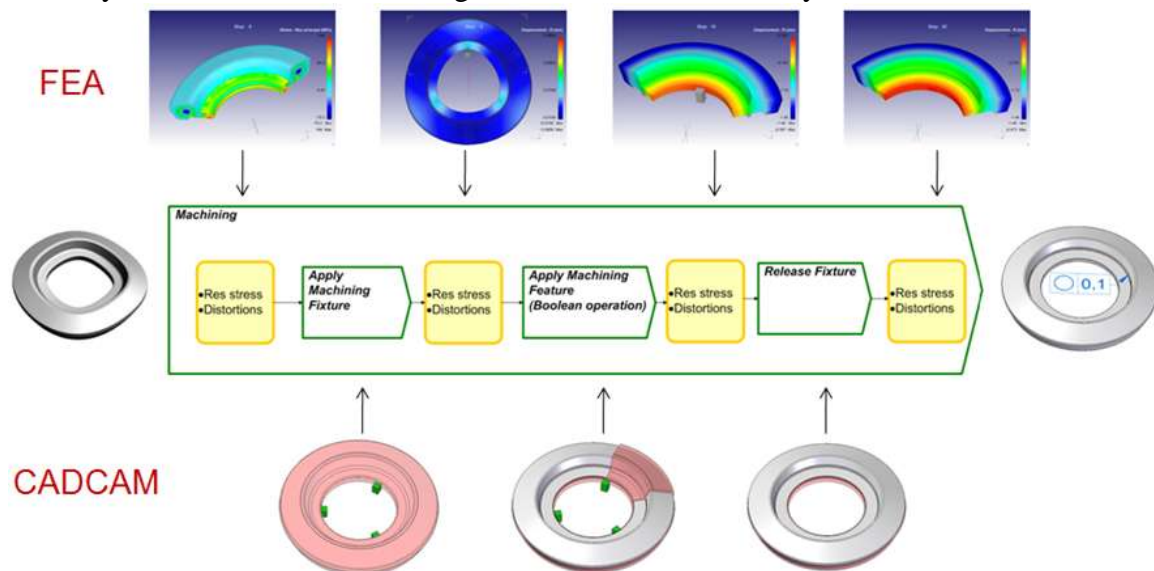
Figur 4: Export/Import av maskinmodell via STEP

kronhjul i en gammal fleroperationsmaskin som förväntades uppvisa betydande avvikelser i form av positioneringsnoggrannhet under bearbetning på grund av slitage. Innan bearbetning hade den verkliga verktygspositionen under belastning mätts upp med laser interferometer. Därefter, med en upplösning på 10 mm, för varje punkt (XYZ) inom arbetsområde mättes den verkliga positionen och noterades jämte den programmerade positionen. Resultatet av denna mätning användes sedan av NIST för att förutsäga lägesnoggrannheten genom att med sin egenutvecklade programvara beräkna det totala lägesfelet genom bidraget från varje axels enskilda lägesfel. För att simulera bearbetningskraftens påverkan på lägesnoggrannheten användes en Loaded Double Ball Bar (LDBB) utrustning.



Figur 5: Modellbaserad analys av positioneringsnoggrannhet under belastning

Verktygets lägesfel p.g.a. utböjning orsakad av skärkrafter beräknades sedan med hjälp av programvara utvecklad av Boeing där information om skärtvärsnittsarean i STEP-NC programet användes för att förutsäga verktygets utböjning och riktning vid den aktuella bearbetningssituationen. Baserat på mätresultatet från laserinterferometern och LDBB samt den beräknade positionen hos verktyget under bearbetning kunde det totala lägesfelet uppskattas och dess inverkan på bearbetningsresultatet. När det bearbetade kronhjulet sedan mättes, överensstämde den observerade formavvikelsen väl med beräknad formavvikelse. Storleken på det observerade formfelet var dock mindre än beräknat. En annan demonstrerad tillämpning av formelementbaserad operationsberedning i projektet genomfördes av Swerea - IVF och KTH som använde Finit Element Analys för att simulera effekterna av elastisk deformation vid fastspänning och frigjorda restspänningar under bearbetning av ett arbetsstycke. Den demonstrerade scenariot (*Figur 6*) var bearbetning av ett Scania kronhjul där det smidda ämnet antogs ha både formfel och restspänningar efter smidningen. Vid fastspänning i fixturen orsakar spännkraften från chuckbackarna elastisk deformation av arbetsstycket under bearbetning. Under den följande bearbetningen frigörs sedan restspänningar i arbetsstycket som en följd av borttagningen av material. När arbetsstycket sedan lossas ur fixturen och fjädrar tillbaka till obelastat tillstånd uppstår formfel på den bearbetade ytan. Frågeställningen som simuleringen syftade till att besvara är vilken slutlig form arbetsstycket får efter bearbetning - dvs kommer arbetsstycket vara inom tolerans.



Figur 6: Simulering av bearbetningsföljd för validering av produkttegenskaper

Förutom ovan presenterade exempel finns även viktiga projektresultat publicerat i de vetenskapliga publikationer som redovisas i avsnitt 6.2 *Publikationer*, samt i den mer utförliga tekniska rapporten från projektet.

## 5.1 Bidrag till FFI-mål

Projektets vision var att detta och dess förväntade resultat skulle bidra till utvecklingen av en effektiv och kvalificerad operationsberedning för tillverkning av dagens och morgondagens miljömässigt hållbara fordonskomponenter och produkter i Sverige, och det kan definitivt sägas att projektet har arbetat i linje med denna vision. Detta eftersom projektet, de genomförda demonstranterna, vetenskapliga publikationer och andra resultat alla är viktiga bidrag för att möjliggöra en effektiv operationsberedningsprocess i vilken digitala verktyg används för planering, analys, validering och verifiering. Virtual Manufacturing är en teknik under stark utveckling och som förutsätter kvalitativa informationsmodeller som kan representera de egenskaper man önskar studera. Det har varit ett strategiskt tillvägagångssätt i projektet att utnyttja och förespråka användning av systemneutrala informationsstandarder framför proprietära format. Systemneutral information möjliggör för användare att återanvända och dela modeller av produkter, processer och resurser. Vilket bidrar till att reducera icke värdeskapande arbete i form av justering, omarbetning m.m. samt säkerställa datalivslängd – dvs att den lagrade informationen även i framtiden är möjlig att komma åt. Indirekt kommer projektresultaten också att bidra till att minimera miljöpåverkan då det modellrivna arbetssättet medför en effektivare operationsberedningsprocess som möjliggör att ytterligare insatser kan inriktas på att utforma produkter och produktionsystem med hållbar teknik och framför allt att man kan tillverka produkter till snävare toleranser och i material som är svårare att bearbeta. Effektiv användning av Virtual Manufacturing bidrar också till att minska miljöbelastningen eftersom man genom simulering kan göra rätt från början vilket kommer att reducera andelen felaktiga produkter från våra tillverkningssystem. Därav minskar också behovet av att återvinna/ta hand om kasserade produkter, nedsmältning av skrot/ tillverkning (gjutning, smide m.m.) av nya ämnen samt transporter av material. Allt sammantaget bidrar till att minska energiförbrukning och miljöbelastning på alla nivåer. Beträffande spridning av resultat och erfarenheter så är denna typ av forskningsprojekt en mycket bra form att etablera och öka samarbete mellan akademi och företag. Ur akademi- och forskningssynpunkt är den här typen av samarbete mycket bra eftersom olika experter från de medverkande företagen och deras kunskap om sina egna yrkesområden bidrar till att forskarna kan utvidga och flytta fram forskningsfronten inom modellering och tillämpning av digitala modeller inom operationsberedning. Demonstratorerna i WP 8 är alla bra exempel där bidrag från industrin har hjälpt forskningen att formulera nya frågor och sätta tillgängliga CAM-system på prov. Även om resultatet av dessa prov kanske inte har uppfyllt alla de mål som formulerats med de olika demonstranterna så har de för både industri och akademi ändå bidragit till att belysa tillkortakommanden i dagens beredningssystem. Demonstratorerna har också bidragit till att ge de deltagande systemleverantörerna en bättre bild av och förståelse för industrins behov. En ytterligare fördel har varit sammansättningen av industripartners vilka har kunnat bidra med erfarenheter och problem från sina områden till ömsesidig nytta för dem alla. Projektets olika arbetsmöten och workshops där de deltagande företagen har delat information och kunskap mellan varandra har bidragit till att man i respektive företag fått mer kunskap och därigenom också blivit mer konkurrenskraftiga. Ur akademi- och utbildningsperspektiv har samarbetet

bidragit till att utveckla state-of-art kurser i produktionsteknik, vilket på ett bra sätt förbereder eleverna på svenska ingenjörsprogram för den verklighet de kommer att möta i industrin. Kort sagt, ett givande samarbete som ur alla synvinklar, har bidragit till att stärka industri, akademi och forskare.

## 6. Spridning och publicering

### 6.1 Kunskaps- och resultatspridning

När man tar upp kunskaps- och resultatspridning av projektresultat till diskussion så har industri och akademi lite olika mål med sitt deltagande i ett projekt som detta. Industrin är ganska naturligt mer intresserad av resultat som kan förbättra deras verksamhet medans akademien och forskarna å sin sida är intresserade av att få vetenskaplig ackreditering genom att publicera projektresultat på ett godkänt sätt. Även om forskningen definitivt kan utveckla intressanta datorapplikationer att användas i demonstrationssyfte så är det inte forskningens roll att utveckla de fullskaliga och nydanande berednings-system som industrin kan använda i sin operativa verksamhet. Forskningens roll är att studera ämnesområdet och utifrån gjorda iakttagelser, tillämpa, förbättra eller utveckla teknik som uppfyller industrins behov. Genomförandet av forskningsresultat är systemleverantörernas uppgift och industrins roll i detta är att formulera mycket tydliga och precisa krav till systemleverantörerna på vad för slags önskad funktionalitet man är intresserad av att betala för. Som nämnt i avsnitt 4 - Genomförande, har det varit en strategi i detta projekt att utnyttja systemneutrala informationsstandarder i så stor utsträckning som möjligt och att undvika proprietära dataformat. Detta därför att det möjliggjort för projektet att demonstrera möjligheter med modelldriven operationsberedning och påvisa fördelar och vinster med att använda standarder. En ytterligare fördel med detta tillvägagångssätt är de möjligheter det medfört för projektets forskare att delta internationellt inom utvecklingen av internationella standarder där exempelvis den demonstration av modellbaserad analys av positioneringsnogrannhet under belastning som hölls på KTHs XPRES lab under ISO-mötet i Stockholm, juni 2012, var ett mycket bra tillfälle att presentera viktiga projektresultat inför en internationell publik. Då de demonstratorer som projektet tagit fram dessutom bygger på industrins behov, är det också lätt att till dem kommunicera möjligheter och fördelar med modelldriven operationsberedning baserad på systemneutrala informationstandarder. Därigenom får också industrin viktig kunskap som är användbar då de ska formulera sina krav och önskemål på systemfunktionalitet till systemleverantörerna. Men kanske ännu viktigare ur en spridningssynvinkel, är det faktum att systemleverantörer har en mer aktiv form av deltagande internationellt än nationellt, åtminstone hur det fungerar i Sverige. De demonstratorer som utvecklats projektet kommunicerar inte bara möjliga fördelar med modelldriven operationsberedning, de visar också för systemleverantörer att det är möjligt att genomföra den funktionalitet som demonstreras med hjälp av internationella standarder. Ur kunskaps- och resultatspridningssynpunkt, är projektets olika demonstratorer viktiga bidrag som visar på en möjlig inriktning för mjukvaruutveckling

som skulle vara bra för både industri och systemleverantörer. Avslutningsvis är också utbildningen inom produktionsteknik ett bra exempel på spridning av projektresultat där ingenjörstudenter genom föreläsningar och demonstrationer inte bara tillägnar sig kunskap som förbereder dem för arbete i fordonsindustrin, de får också möjlighet att se vad för slags teknik som finns tillgänglig för att uppfylla industrins behov.

## 6.2 Publikationer

Under projekttiden har ett antal publikationer lämnats in och godkänts. Huvuddelen av dem är resultatet av olika demonstrationer som utvecklats inom projektet.

- Model Based Machining Descriptions (Hedlind M, Lundgren M, Lundholm T, Kjellberg T, 2010)
- Manufacturing resource modelling for model driven operation planning (Hedlind M, Lundgren M, Archenti A, Kjellberg T, Nicolescu C M, 2010)
- Embedding a Process Plan in Function Blocks for Adaptive Machining (Wang L, Holm M, Adamson G, 2010)
- Development of a Model-driven Approach for Process Planning (M.Sc. thesis, Huang Q, 2011)
- Kinematic structure representation of products and manufacturing resources (Hedlind M, Klein L, Li Y, Kjellberg T, 2011)
- Implementation of kinematic mechanism data exchange based on STEP (Li Y, Hedlind M, Kjellberg T, 2011)
- An Adaptive Approach to Planning and Monitoring of job-shop machining operations (Wang L, Givehchi, 2011)
- Using Existing Standards as a Foundation for Information Related to Factory Layout Design (Chen D, Hedlind M, von Euler-Chelpin A, Kjellberg T, 2011) In collaboration with FFI Digital Factory Building Blocks (DFBB)
- CAPP - A critical review of recent developments and future trends (Xu X, Wang L, Newman S T, 2011)
- Cutting tool data representation and implementation based on STEP AP242 (Li Y, Hedlind M, Kjellberg T, Sivard G, 2012)
- Kinematic error modeling based on STEP AP242 (Li Y, Hedlind M, Kjellberg T, 2012) In collaboration with FFI – DFBB
- A Review of Function Blocks for Process Planning and Control of Manufacturing Equipment (Wang L, Adamson G, Holm M, Moore P, 2012)
- Enabling the crowd sourcing of very large product models (submitted to IFIP PROLAMAT conf.) (Hardwick M, Loffredo D, Fritz J, Hedlind M, 2013)
- Model Driven Process Planning for Machining – Theory, application and improved information standards for efficient product realization (Ph.D. thesis, Hedlind M, 2013)

## 6.3 Utbildning

Det nära samarbetet mellan forskarna och de deltagande industriföretagen i projektet har gett forskarna en bra möjlighet att observera hur de olika företagen tillverkar sina produkter, vilken typ av utmaningar de möter i sin produktion, vilken typ av behov de har, vilken typ av systemstöd de skulle behöva m.m. Projektet har dessutom utgjort en mycket bra plattform för att skapa nätverk mellan akademi och industri, samt mellan forskare och branschexperter, på det hela, en mycket fördelaktig situation för akademien och den produktionstekniska utbildningens del. Projektet har bidragit mycket till utvecklingen och utformningen av de två kurserna *MG2036 – Datorstödd produktion* och *MG2130 - Modellering och simulering av industriella processer* som ges på KTH Industriell produktion. Dessa två kurser har som namnet antyder en stark koppling till Virtual Manufacturing, men även om detta har stor potential som produktionstekniskt verktyg för att analysera, validera och verifiera olika produktionsalternativ, behöver också studenterna komma i verklig kontakt med tillverkning för att verkligen förstå den. Och här är nätverket mellan industri och akademi en mycket värdefull tillgång då akademien kan bjuda in branschexperter som gästföreläsare och ge studenterna möjlighet att ta del av deras kunskaper och erfarenheter.

## 6.4 Annan spridning av projektresultat

Förutom spridning av projektresultat genom vetenskapliga publikationer och i ingenjörsutbildningen har också projektet (och FFI – Hållbar produktionsteknik) och dess resultat blivit presenterade i ett antal olika sammanhang, som exempelvis:

- ISO TC184 SC4 WG3 T1 & T24 (regelbundna möten)
- ISO TC184 SC4 internationellt stormöte, Stockholm, Juni 2012
- SVMF (Sveriges verktygsmaskinaffärers förening)
- FVM – (Föreningen för verktygs- och verktygsmaskintillverkare)
- TK279 and TK280 (regelbundna möten)
- KT-kluster konferensen, Katrineholm 2011, 2012
- DMMS – MCR medlemskonferens 2010, 2011, 2012
- CIRP The International Academy for Production Engineering (regelbundna möten)

## 7. Slutsatser och fortsatt forskning

Resultaten från detta projekt är i ett långsiktigt perspektiv viktiga bidrag för att öka produktiviteten och kvaliteten i operationsberedning och i tillverkning. Det ömsesidiga samarbetet mellan forskning och industrideltagare i projektet har bidragit till att bibehålla och i viss mån också förstärka sedan många år goda relationer mellan forskning och svensk fordonsindustri. Genom projektets olika demonstrationer har inte bara möjligheterna med modelldriven operationsberedning kommunicerats till tillverkningsindustrin, de har också visat att det är möjligt att genomföra demonstrerad funktionalitet

med hjälp av systemneutrala internationella standarder för informationsmodellering. De flesta av demonstrationerna har också fått internationell uppmärksamhet och sedda som viktiga bidrag inom Virtual manufacturing vilket bidragit till att göra svensk produktionsteknisk forskning inom Virtual manufacturing internationellt känd och respekterad. För att behålla denna position är det därför viktigt med fortsatt forskning inom modelldriven beredning, och ett lämpligt forskningsområde där arbetet från detta projekt skulle kunna fortsätta vidare med är Production Part Approval Process - eller PPAP i kort. PPAP används inom fordonsindustrins supply-chain för att skapa förtroende för fordonsföretagens undeleverantörer och deras tillverkningsprocesser. Syftet med PPAP är att säkerställa att en underleverantör har förstått alla produkt- och tillverkningskrav korrekt för de komponenter de levererar, och att underleverantörens tillverkningsprocess är kapabel att leverera komponenter som uppfyller dessa krav. Dagens PPAP är en arbetsintensiv process i vilken det finns ett stort antal dokument som måste upprättas och administreras. En tillverkare ska t.ex. för varje tillverkningsmått- och tolerans på en komponent inte bara dokumentera hur detta framställs utan också ange möjliga orsaker till avvikelser. En aktivitet som kan vara både tid- och arbetskrävande då fordonskomponenter som t.ex. ett motorblock kan innehålla tusentals olika tillverkningsmått och toleranser, var och en med flera möjliga orsaker till avvikelser som måste vara under kontroll. Dagens dokumentbaserade PPAP skulle kunna ersättas av ett modellbaserat arbetssätt där en komponents formelement med mått och toleranser kan länkas till en kapabel tillverkningsprocess och en giltig mätmetod genomförd av en godkänd operatör med ett godkänt mätdon. Ett modellbaserat arbetssätt skulle på sätt effektivisera PPAP och öka produktiviteten inom operationsberedning och i produktion.



FFI

FORDONSSTRATEGISK  
FORSKNING OCH INNOVATION

## 8. Deltagande parter och kontaktperson



swerea|IVF

UNIVERSITY OF  
SKÖVDE



SCANIA



SIEMENS

Flygt



ITT Industries



Kontaktperson för projektet: Magnus Lundgren, KTH – Industriell produktion