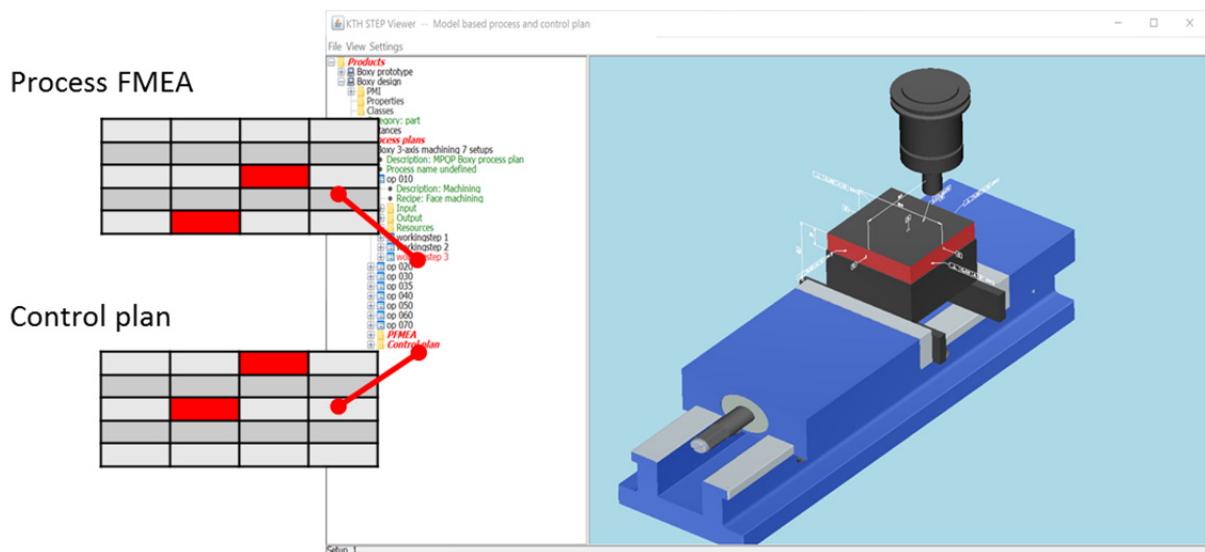


MPQP – Modelldriven beredning och kvalitetssäkring

Publik rapport



Författare: Magnus Lundgren. KTH Industriell produktion
Datum: 2017.09.30
Projekt inom Hållbar produktion

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	5
2 Executive summary in English.....	7
3 Bakgrund.....	9
3.1 Artikelberedning	9
3.2 Kvalitetssäkring	10
3.3 Modelldriven artikelberedning	11
4 Syfte, forskningsfrågor och metod.....	13
4.1 Syfte	13
4.2 Tes	13
4.3 Forskningsfrågor	14
4.4 Metod	15
4.5 Verifiering	16
5 Mål	17
6 Resultat och måluppfyllelse	19
6.1 Boxy – en demonstrator för modelldrivet arbetssätt	22
6.2 Måluppfyllelse.....	28
7 Spridning och publicering.....	31
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	31
7.2 Publikationer.....	32
7.3 Utbildning	33
8 Slutsatser och fortsatt forskning	35
9 Deltagande parter och kontaktpersoner	37
Bilaga 1.....	39
Bilaga 2.....	41

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr.

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

1 Sammanfattning

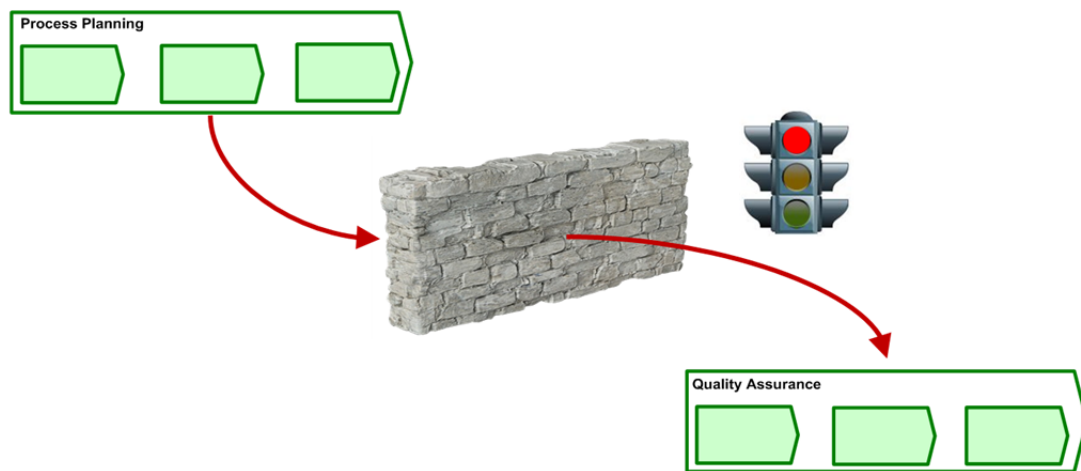
Systematisk artikelberedning och kvalitetssäkring är en förutsättning för effektiv framtagning av kvalificerade produkter till konkurrenskraftigt pris. Dagens arbetssätt är dock inte optimalt då dessa två viktiga processer sker åtskilda varandra. Viktiga beslut och överväganden gjorda under artikelberedning fångas inte upp och återanvänds i kvalitetssäkringsaktiviteter som PFMEA. Arbetet med att ta fram, hantera och underhålla kvalitetsstyrande dokument är dessutom mycket tid- och resurskrävande och föreskrivna mallar och dokument som används är ofta inte ändamålsenliga för den avsedda uppgiften. Ett problem med dagens dokumentbaserade arbetssätt är att viktig information sprids ut, fragmenteras över många olika dokument vilka inbördes inte hänger samman. En sidoeffekt av detta är också att det leder till duplicering av information, dvs. att en och samma information återfinns på flera olika ställen. När ingenjörer i produktionen måste avsätta värdefull tid till att upprätta, hantera och underhålla dokumentbaserad information så används inte deras kompetens på ett värdeskapande sätt. Det övergripande syftet med detta projekt har varit att effektivisera artikelberedning och kvalitetssäkring genom modelldrivet arbetssätt, demonstrera vad modelldrivet arbetssätt innebär och hur det skulle kunna bidra till att effektivisera artikelberedning och kvalitetssäkring. Modelldrivet arbetssätt medför stora möjligheter till signifikant produktivetsökning inom artikelberedning och kvalitetssäkring. Genom presenterade demonstrationer har projektet visat att digitala modeller kan bära information som skapats i artikelberedning för vidare användning i kvalitetssäkring och tillverkning. Demonstrationerna har också visat att nya och radikalt förbättrade arbetsmetoder kan realiseras genom användande av koherenta digitala modeller vilka möjliggör integrerad artikelberedning och kvalitetssäkring. Modelldriven artikelberedning och kvalitetssäkring medför att fragmenterad dokumentbaserad information ersätts med digitala modeller där artikelberednings- och kvalitetssäkringsrelevant information representeras på ett gemensamt och sammanhängande sätt. Modelldriven artikelberedning och kvalitetssäkring medför att värdefull ingenjörstid kan frigöras för innovation och processförbättrande åtgärder i stället för att ägnas åt upprättande och underhåll av fragmenterad och duplicerad dokumentbaserad information i kvalitetsstyrande dokument i produktionen. Ett viktigt bidrag av projektet är dess nyskapande synsätt att den resulterande digitala modellen av en väl genomförd artikelberedning i sig också är produkt av alla viktiga kvalitetsstyrande avväganden som gjorts under processen, vilka kan representeras i en digital modell för att kommunicera avsikten med tillverkningsprocessens utformning. De presenterade resultaten har stor potential att vidareutvecklas genom fortsatt forskning och bidra till främjandet av innovativt tänkande inom artikelberedning och kvalitetssäkring, utveckling av datorsystem för modelldrivet arbetssätt, samt fortsatt utveckling av internationella standarder som ISO 10303.

2 Executive summary in English

Systematic process planning and quality assurance is a prerequisite for efficient production of qualified products at a competitive cost. However, as these two important processes are separated from each other, today's work methods are not optimal. Important decisions and considerations made during process planning are not captured and reused in quality assurance activities such as PFMEA. Creation, management and maintenance of quality assurance documents is also very time-consuming as utilized templates and documents are not always optimally efficient with respect to the task to be performed. A major shortcoming with today's document-based workflow is that important information is distributed and fragmented across many different documents which in no way are interrelated. As a consequence, information duplication also occurs. When manufacturing engineers have to spend valuable time on creating, managing and maintain document-based information, their skills are not used in an efficient and value-creating manner. The overall purpose of this project has been to demonstrate how a model-driven workflow can streamline process planning and quality assurance. Model-driven process planning and quality assurance has great potential to contribute to a significant productivity increase in process planning and quality assurance. Through presented demonstrations, the project has shown that digital models can carry information created in process planning for further use in quality assurance and manufacturing. The demonstrations have also shown that new and radically improved work methods can be realized through utilization of coherent digital models, which will enable integrated process planning and quality assurance. Through model-driven process planning and quality assurance, fragmented information in different documents can be replaced by digital models where process planning and quality assurance related information is represented in a common and coherent way. Utilization of digital models decrease the need to create and maintain quality management documents, simultaneously as the amount of fragmented and duplicated information becomes significantly reduced. Hence, valuable engineering competence can be used for innovation and process improvements instead of creating, manage and maintain documents. An important contribution of the project is the novel approach that the resulting digital model of well-performed process planning also is a product of all the important manufacturing and quality considerations made during process planning. Considerations whose rationale also can be represented in a digital model enabling communication of process design intent. The presented project results have a great potential to be further developed in continued research, contributing to promote innovative thinking in process planning and quality assurance, development of computer systems for model-driven work methods, and continued development of international standards such as ISO 10303.

3 Bakgrund

Systematisk artikelberedning och kvalitetssäkring är en förutsättning för effektiv framtagning av kvalificerade produkter till konkurrenskraftig kostnad inom svensk tillverkningsindustri. Dagens arbetssätt är dock inte optimalt då dessa två viktiga processer sker relativt åtskilt varandra (Figur 1). Viktiga beslut och överväganden (process design rationale) som gjorts under artikelberedning fångas inte på något effektivt sätt upp i nedströms kvalitetssäkringsaktiviteter som PFMEA. De mallar och dokument som används är heller inte alltid ändamålsenliga och arbetet med att ta fram, hantera och underhålla kvalitetsstyrande dokument är mycket tid- och resurskrävande. Beredare i industrin har uppskattat att så mycket som 50 – 75 % av deras arbetstid ägnas åt att ta fram, hantera och underhålla kvalitetsstyrande dokument. Förbättrade verktyg och arbetsmetoder skulle kunna frigöra artikelberedare från den tid- och arbetskrävande dokumentationen och möjliggöra ett mer ändamålsenligt användande av deras kompetens.

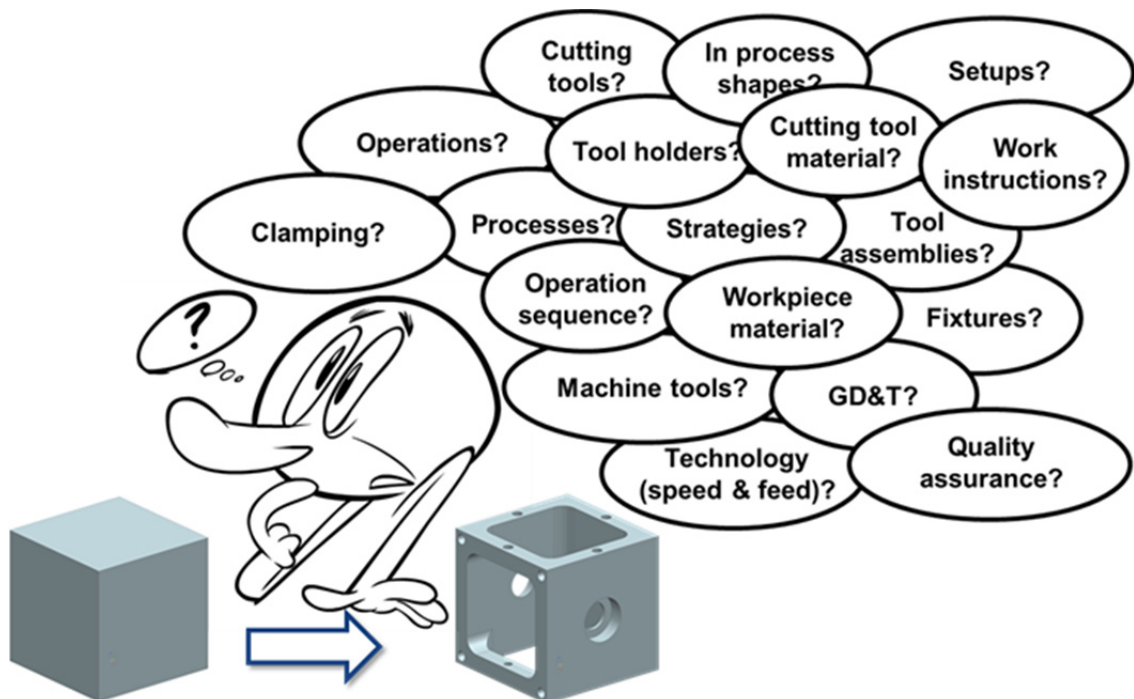


Figur 1. Artikelberedning och kvalitetssäkring sker idag relativt åtskilt varandra

3.1 Artikelberedning

Artikelberedning handlar om att fastställa de tillverkningsoperationer som behövs för att framställa en produkt och att utforma dem på bästa möjliga sätt. Varje operation fyller en funktion i helheten genom att bidra till och säkerställa att den framtagna tillverkningsprocessen är kapabel att leverera produkter med avsedd kvalitet. Resultatet (beredningen) av processen beskriver EN beslutad metod att tillverka produkten på. Det finns naturligtvis andra sätt att tillverka produkten på. Men beredningen beskriver det sätt man beslutat att tillverka produkten på. Den bestämda metoden (tillverkningsprocesser, styr- och kontrollmetoder, resurser och andra hjälpmedel m.m.) är representerad och kommunicerad genom olika dokument, NC-program, m.m. Vilka de är, vad de innehåller och hur de är utformade varierar mellan olika företag. Tillsammans utgör de det samlade resultatet av alla de överväganden och beslut som fattats under beredningen. En fundamental premis i detta projekt är att kompetenta beredare, med hänsyn till givna eller antagna förutsättningar, har som övergripande målsättning att utforma en så robust tillverkningsprocess som möjligt med förmåga att leverera förväntat resultat. Vid utformningen av processen tar beredaren höjd för/beaktar det påtänkta tillverkningssystemets (utrustning, metoder, människor, m.m.) bedömda förmåga att leverera önskat resultat. Beredare förvärvlar genom erfarenhet förmåga att förutse problem. Hur många, och vilka problem som kan förutses beror naturligtvis mycket på hur mycket, och vad för slags erfarenhet man förvärvat. Som kognitiv aktivitet betraktat är artikelberedning inte begränsat till enbart analys och beslutsfattande. Kreativitet, förmåga att formulera nya idéer till nya lösningar utgör också en viktig del av beredningsprocessen. En erfaren beredare är ganska naturligt skickligare på detta än novisen. Den skicklige beredarens yrkeskunnande har sin grund i såväl deklarativ (propositionell), explicit kunskap, som färdighetsbaserad (procedural), praktisk kunskap. Den erfarenhetsbaserade kunskapen är vanligtvis av karaktären tyst kunskap vilken inte låter sig beskrivas i enkla termer. Att beskriva tanke- och beslutsprocessen vid beredning är därför inte

elementärt. Men ganska allmänt kan det beskrivas som en iterativ process i vilken beredaren simultant och parallellt arbetar med olika lösningsalternativ, intuitivt väger för- och nackdelar mot varandra, analyserar möjliga felsätt, orsak, och konsekvens, formulerar möjliga åtgärder att förhindra uppkomst av felsätt o.s.v. (Figur 2). En beredare i ett av de deltagande företagen i projektet har uttryckt denna process i termer av att tänka "Vad kan möjligtvis gå fel?" Genom succesiv eliminering av mindre lämpliga alternativ att utforma den avsedda tillverkningsprocessen konvergerar beredningsprocessen mot en slutlig och beslutad tillverkningsprocess. Resultatet är en väl utformad tillverkningsprocess i vilken de felsätt man kunnat förutse i så stor uträkning som möjligt redan är eliminerade genom en "smart" utformning av tillverkningsprocessen. Systematisk artikelberedning fyller därför en viktig funktion i kvalitetssäkringsprocessen genom att genomtänkta och väl utformade tillverkningsoperationer kan bidra till att reducera behovet av kostsam, icke värdeskapande mätning och inspektion i tillverkningen.



Figur 2. Artikelberedning omfattar många beslut att ta ställning till

3.2 Kvalitetssäkring

Systematisk kvalitetssäkring är ett stort och omfattande område som spänner över kvalitetsledningssystem som beskriver arbetssätt för organisationer, metoder för att kvalitetssäkra produkter vid konstruktion, metoder för felupptäckt och riskanalys i konstruktion och produktion, m.m. till mer detaljerade tekniskt praktiska frågor som avvikelshantering, mätprinciper, styrning och kontroll, m.m. Systematiskt kvalitetssäkringsarbete är en nödvändighet i alla tillverkande företag men beroende på bransch kan man följa olika standarder. I det här projektet med deltagare från fordonsindustrin (Scania, Volvo, Amtek, Leax), flygindustrin (SAAB) och produktion av skärverktyg (Sandvik Coromant) är det ISO 9000, APQP, ISO/TS 16949, PPAP och AS9100 som har varit i fokus. AS9100 används inom flygindustrin, medan fordonstillverkarna och deras underleverantörer använder ISO/TS 16949. Den senare har sitt ursprung i APQP - Advanced Product Quality Planning reference manual, utarbetad av GM, Ford och Chrysler i början av 1990-talet. Samtliga nämnda standarder för kvalitetssäkring är omfattande dokument som både beskriver vad som ska göras och i vilken ordning, såväl som vilka metoder som ska tillämpas. T.ex. kan det nämnas att PPAP (Production Part Approval Process) som tillämpas i fordonsindustrin för kvalitetssäkring i linje med ISO/TS 16949, omfattar 18 olika punkter/krav som exempelvis en underleverantör till Scania eller Volvo skall uppfylla. De 18 punkterna omfattar bl.a. tekniska underlag (artikelritning, ämnesritning m.m.), DFMEA (Design Failure Mode and

Effect Analysis), PFMEA (Figur 3) Processflödesbeskrivning, Styrplan, Mätssystemanalys (MSA), m.fl. Särskilt arbetet med att genomföra PFMEA lyftes upp som en tid- och resurskrävande aktivitet i fordonsindustrin. Syftet med arbetet är odiskutabelt med arbetet men den praktiska nyttan av resultatet upplevdes inte alltid stå i proportion till insatsen. Av den anledningen kom därför effektivare hantering av PFMEA att bli ett område för projektet att särskilt fokusera på.

Process step	Function	Failure mode	Failure cause	Failure effect	Failure severity	Failure detectability	Failure preventive action
10 - Turning	Create location surface	Clamping marks	Swarfs on clamping surface	Location failure in process step 30 - Grinding	Process critical	Medium – operator depending	Remove swarfs from fixture before clamping
20 - Turning	Create stock for grinding	Not enough stock left after turning	To large nose radius compensation	Failure in process step 30 - Grinding	Process critical	Medium – operator depending	Check products regularly adjust tool compensation according to instructions
30 - Grinding	Create guide surface	To small diameter	To small stock amount	Axis – hole clearance too large	Product failure	Medium	Check diameter after process step 20 – Turning regularly

Figur 3. Exempel på mall för kvalitetssäkring/risikanalyt, PFMEA/PFMECA

3.3 Modelldriven artikelberedning

Med modelldriven artikelberedning avses ett arbetssätt i vilket information som vanligtvis presenteras i traditionella 2D ritningar i stället finns representerad i en digital produktmodell. Den digitala modellen innehåller all relevant och nödvändig information för artikelberedning, som t.ex. tillverkningsstoleranser, materialinformation, formelement (hål, plan, spår, m.m.). Ett modelldrivet arbetssätt vid artikelberedning innebär att beredaren får en fullständigt och entydigt beskriven digital produktmodell, t.ex. en 3D CAD modell. Om ett utgångsämne, t.ex. ett gjutgods, redan bestämts på konstruktionsstadiet så tillhandahålls också en fullständigt och entydigt beskriven digital produktmodell av ämnet. Om inget ämne är specificerat kan beredaren själv bestämma ett ämne att utgå ifrån. Den digitala modellen av tillverkningsprocessen som beredaren utformar kan också omfatta ett flertal modeller av produkten under olika steg i tillverkningsprocessen. Dessa för tillverkningsprocessen unika delprodukter kan innehålla särskilda tillverkningsstoleranser som beredaren bestämt, eller innehålla formelement som fyller bestämda funktioner i tillverkningsprocessen, som t.ex. ytor för lokalisering av detaljen i fixtur, o.s.v. Även de resurser som är tänkta att användas i tillverkningsprocessen, t.ex. verktygsmaskiner, fixturer, skärverktyg m.m. finns representerade som digitala modeller. Resultatet av själva beredningsprocessen, dvs. beredningen, är en digital modell som t.ex. innehåller information som NC-maskiner behöver, men också information till operatörer, dvs. digitalt representerade instruktioner.

Datorstödd produktion och CAD/CAM är i sig inget nytt utan en teknologi med rötter i 60-70 talet. Initialt rådde i början av 1970-talet en stor optimism till möjligheterna att automatisera beredningsprocessen med hjälp av datorer. Men ett halvt decennium av forskning som därefter följt har visat uppgiften att ersätta mänsklig expertis med datorprogram som betydligt svårare än vad man först trodde. Många försök har gjorts, olika metoder som regelbaserade beslutssystem, oskarp logik, neurala nätverk, evolutionära algoritmer, och olika hybridkombinationer av dessa, m.m. har utforskats och prövats under åren. Trots stora insatser att formalisera expertens "know-how" i databaser, regler och AI-system för problemlösning, har ännu inte det tidiga 1970-talets optimistiska tro på att ersätta människan med datorer kunnat realiseras fullt ut.

Om automatisk beredning med ett minimum av mänsklig interaktion kan sägas utgöra en form av CAPP paradigm så representerar det modelldrivna arbetssätt som utgör fundament i MPQP ett annat CAPP paradigm. Ett synsätt med ett fundamentalt annorlunda perspektiv på människans roll i det moderna produktionssystemet. I stället för att ställa människa och teknologi i ett motsatsförhållande och tala i termer av mänskliga begränsningar och teknologiska möjligheter, är drivkraften i det modelldrivna arbetssättet att utforska nya sätt att kombinera unikt mänskliga förmågor som intelligens, kreativitet och anpassningsförmåga med de möjligheter som datorn erbjuder.

Mänsklig interaktion med produktionssystemet ska inte ses i termer av kostnader eller som en källa till problem. Den kompetenta människan ska i stället ses som den primära källan till produktivitet i det moderna produktionssystemet. Därför bör heller inte datorprogram utformas för att imitera och ersätta mänsklig expertis, utan utformas till att vara ändamålsenliga och effektiva verktyg som stöttar mänskligt beslutsfattande. Rätt utformade datorsystem för CAD, CAPP & CAM, i kombination med ett modelldrivet arbetssätt kan bidra till att tillvara den mänskliga expertens kompetens på ett mer ändamålsenligt sätt.

Models supporting human capabilities:

- Intelligence
- Creativity
- Adaptability

Computer software for model:

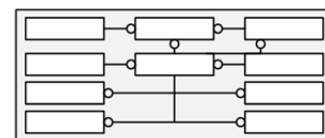
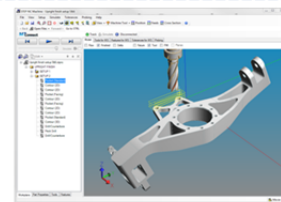
- Creation
- Visualization
- Interaction

Information schemas:

- Concepts, logics and data
- International standards



[www.malardalensstekniska.se]



Figur 4. Modelldriven artikelberedning vilar på tre fundament

Därför utgör den kompetenta människan ett av de tre fundamenten i modelldrivet arbetssätt (Figur 4). Det andra fundamentet utgörs av datorprogram som på ändamålsenligt sätt stöttar den kompetenta människans värdeskapande handlingar genom att tillhandahålla effektiva funktioner för att skapa, interagera och visualisera digitala modeller vid konstruktion, i artikelberedning och i kvalitetssäkring. Det tredje fundamentet i modelldrivet arbetssätt är ett konsekvent användande av internationella standarder för representation av produkt-, process- och resursdata. Genom att använda standardiserad representation kan viktig produkt-, process- och resursdata överföras mellan olika datorsystem utan väsentlig förlust av innebörd i de sammanhang i vilken informationen ska användas. Genom att använda ett och samma standardiserade format för representation av produkt-, process- och resursdata i de datorsystem som används vid artikelberedning och kvalitetssäkring kan mängden fragmenterad och duplicerad information också reduceras.

Standarder för representation av produkt-, process- och resursdata utgör i sig ett stort område och arbetet med att främja standardisering och bidra till utvecklingen av standards är strategiskt viktigt för projekt som MPQP eftersom det modelldrivna arbetssättet bygger på att CAD, CAPP och CAM system har tillgång till produkt-, process- och resursdata som kan representera den information som är väsentlig att hantera i artikelberedning och kvalitetssäkring. Forskningsutföraren (KTH) har under många år genom den forskning som bedrivits på KTH lämnat väsentliga bidrag i utvecklingen av standarder, som t.ex. ISO 13399 - Cutting tool data representation and exchange, ISO 10303-214 - Core data for automotive mechanical design processes, ISO 10303-242 - Managed model-based 3D engineering, ISO 10303-239 - Product life cycle support (PLCS), samt ISO 10303-238 - Application interpreted model for computerized numerical controllers (STEP-NC).

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Ett av de väsentliga problem som projektet adresserat är att artikelberedning och kvalitetssäkring i stor utsträckning sker åtskilt varandra idag. Beslut och överväganden som beredaren gjort under artikelberedningsprocessen fångas inte på något effektivt sätt upp för vidare analys vid kvalitetssäkring. Mallar som t.ex. föreskrivs i APQP, ISO/TS 16949 m.m., och verktyg man använder för upprättande av kvalitetsstyrande dokument som t.ex. PFMEA och Styrplaner är ofta inte särskilt ändamålsenliga vilket medför att arbetet med att ta fram de dokument som krävs är onödigt tid- och arbetskrävande. Det är heller inte ovanligt att samma personer som gjort beredningen också är de som sedan utför PFMEA på det arbete de gjort. När de förutsättningslöst i efterhand analyserar och dokumentera det egna redan genomförda arbetet används inte deras kompetens på ett optimalt sätt. I det avseendet missar nuvarande arbetssätt för kvalitetssäkring att tillvarata och utnyttja redan skapad värdefull och beprövad information från artikelberedning. Förbättrade verktyg och arbetsmetoder skulle kunna frigöra artikelberedare från den tids och arbetskrävande dokumentationen och möjliggöra ett mer ändamålsenligt användande av deras kompetens.

Ett annat väsentligt problem projektet också adresserat är att bristfällig interoperabilitet mellan olika datorsystem i produktframtagningsprocessen resulterar i fragmenterad information, dvs. att väsentlig information som är viktig för att skapa förståelse distribueras över många olika slags dokument, i modeller m.m. utan information om det inbördes sammanhanget. Bristande interoperabilitet leder också till duplicering av information, dvs. att en och samma information återfinns på flera olika ställen. Förutom problemen som uppstår med att underhålla informationen på alla de ställen där den finns, kan duplicering av information också medföra att informationen med tiden kan komma att få olika innebörd på de ställen där den finns. När information överförs mellan olika system kan även översättningen mellan olika format leda till att viktig innebörd går förlorad, eller att innebörden inte längre är entydig. När ingenjörer måste åtgärda, hantera problem som uppstår på grund av bristande interoperabilitet och fragmenterad information går värdefull tid förlorad i icke-värdeskapande arbete.

Dagens arbetssätt och verktyg för kvalitetssäkring kan och behöver effektiviseras. Många ingenjörstimmar går förlorade genom att man inte tillvaratar och utnyttjar redan skapad information från artikelberedning i kvalitetssäkringen. Behovet och nyttan av att återanvända beprövad information kan inte nog betonas.

4.1 Syfte

Projektets övergripande syfte har varit att demonstrera hur modelldrivet arbetssätt kan effektivisera nuvarande arbetssätt inom artikelberedning och kvalitetssäkring. Mängden fragmenterad och duplicerad information, presenterad i kvalitetsstyrande dokument kan reduceras signifikant, eller t.o.m. elimineras genom representation av väsentlig artikelberedning- och kvalitetssäkringsinformation i digitala modeller. Den digitala representationen medför också att behovet av att upprätta, underhålla och hantera kvalitetstyrande dokument reduceras. Genom modelldrivet arbetssätt och virtuella metoder kan det tvärfunktionella arbetet mellan konstruktion, beredning, kvalitetssäkring och tillverkning effektiviseras. Artikelberedning- och kvalitetssäkringsprocessen effektiviseras när färre ingenjörstimmar behöver avsättas till dokumentation samtidigt som användandet av virtuell teknik bidrar till att främja gemensam förståelse inom och mellan organisationer..

4.2 Tes

- Digitala modeller kan bära information som skapats i artikelberedning för vidare användning i kvalitetssäkring och tillverkning.
- Nya och radikalt förbättrade arbetsmetoder kan realiseras genom användande av koherenta digitala modeller vilket kommer att möjliggöra integrerad artikelberedning och kvalitetssäkring.

4.3 Forskningsfrågor

Projektet har i huvudsak arbetat med följande två forskningsfrågor:

1. Hur kan företagen effektivisera sitt arbetssätt genom användandet av idag tillgängliga verktyg för artikelberedning och kvalitetssäkring?
2. Hur ska framtida verktyg för integrerad artikelberedning och kvalitetssäkring se ut och fungera?

Angående den första frågeställningen, hur företag kan effektivisera sitt arbetssätt inom artikelberedning och kvalitetssäkring med tillgängliga verktyg, har projektet studerat hur de dokument som ISO/TS 16949, AS9100 kräver kan upprättas på ett mer effektivt och ändamålsenligt sätt. För fordonsindustrins representanter i projektet (Scania, Volvo, Leax, Amtek) har framförallt ett mer effektivt sätt att upprätta obligatoriska dokument som PFMEA och Styrplaner varit intressant att studera. Modellbaserat arbetssätt genom hela produktrealiseringsprocessen har varit i fokus hos SAAB. En frågeställning som varit intressant för SAAB är hur man vid beredning för plåtförning på bästa sätt transformerar 3D produktmodellens form- och lägestoleranser till linjärmåttställning på utbredd artikel utan att samtidigt bryta några länkar till ursprungsmodellen. Utbredda plåtartiklar förekommer i stor omfattning i produktionen vid SAAB och linjärmåttställning tillämpas eftersom den är enklare att tolka och hantera på verkstadsgolvet än form- och lägestoleranser. Linjärmåttställning bygger konceptuellt på begreppet "ideala modeller" (ISO 17450 - Geometrical product specifications, GPS) dvs. att detaljen antas vara nominellt riktig. Men verkliga detaljer är inte nominella utan har formfel, vågighet, ytjämnhetsfel, ytdefekter, vinkelfel, m.m. Linjärmåttställning är visserligen enklare för verkstadspersonalen att tolka men innebär samtidigt att specifikationsosäkerhet uppstår, dvs. att de specificerade egenskaperna i ritningsunderlaget inte är fullständigt definierade. I praktiken fångas specifikationsosäkerheten vid linjärmåttställning upp genom outtalade men antagna metodutfall vid tillverkning av detaljen. Om man t.ex. fräser ett steg med ett korrekt verktyg och lämpliga processdata så kan man förvänta sig ett visst utfall i form av vinkelriktighet, formfel, ytjämnhet m.m. Metodkännedom, d.v.s. kunskap om olika tillverkningsmetoders kapabilitet gör att man i praktiken kan bortse från specifikationsosäkerheten. På SAAB har man därför varit intresserade att utforska hur transformation av geometrispecifikation till dimensionsspecifikation kan hanteras.



Figur 5. Olika områden som utforskats för de deltagande företagen i projektet

För Sandvik Coromant har 3D måttsättning varit intressant att studera. Den marknad Sandvik Coromant verkar på har under de senaste decennierna utvecklats mot att deras kunder i ökad utsträckning efterfrågar mer kundanpassade produkter i mindre volymer och med kortare ledtid. Smart automatisering av konstruktion och beredning har därför varit en strategi för Sandvik Coromant att bibehålla sin ledande position. Sandvik Coromant har utvecklat egna beredningssystem som bygger på modularisering av deras produkter, parametrisering av produkt-egenskaper, och regler som styr hur olika moduler kan kombineras, vilka parametrar som är giltiga för en viss kombination o.s.v. Av den anledningen har man på Sandvik Coromant sett hantering av 3D måttsättning på komponentmoduler som intressant att utforska. (Figur 5). Metoder att reducera mängden fragmenterad och duplicerad produkt, berednings, och kvalitetssäkrings-information i de system företagen använder har också varit föremål för forskning. Företagen använder i nuläget många olika system för att skapa och hantera information. I många fall hänger inte information som skapats i ett system samman med information i andra system där informationen används. Något som skapar ytterligare utmaningar med dagens arbetsätt är att antalet tillverkningsdokument för en produkt ökar för varje steg man kommer närmare realisering av produkten. För varje operation (uppspänning) upprättas vanligtvis någon form av operationsbeskrivning/operationsritning som beskriver produktens form i den aktuella operationen. Kontrollinstruktioner för varje operation kan också förekomma, likaså fixturritningar, verktygsritningar, m.m. Mängden dokument som skapas i artikelberedning och kvalitetssäkring blir därför mycket omfattande och andelen dokument i produktionsunderlaget kan förhålla sig som 5:1 (eller mer) relativt andelen dokument i konstruktionsunderlaget. Om vi t.ex. antar att en produkt behöver genomgå fem olika operationer som var och en omfattar tre kvalitetsstyrande dokument, så innebär det att vi sammantaget behöver hantera 15 stycken olika dokument med viktig information som ur systemperspektiv inte alla behöver hänga samman även om vi människor uppfattar att ett sådant finns.

4.4 Metod

För att besvara projektets forskningsfrågor och uppnå de målsättningar som angavs vid ansökan har följande metoder tillämpats.

- Litteraturstudier
- Studier av program för datorstödd artikelberedning- och kvalitetssäkring
- Workshopar
- Fallstudier (demonstrationer)

Litteraturstudierna har a) kartlagt förekomsten av tidigare forskningsresultat, samt b) studerat internationella standarder för kvalitetssäkring. Även om det naturligtvis finns mycket forskning utförd inom respektive område artikelberedning och kvalitetssäkring, har projektet inte kunnat hitta presenterade forskningsresultat i linje med den helhetssyn på integrerad datorstödd artikelberedning och kvalitetssäkring som utgör fundamentet i projektet. I detta avseende har projektet bidragit till nyskapande forskningsresultat. Litteraturstudier av internationella standarder för kvalitetssäkring har omfattat standarder som t.ex. APQP, ISO/TS 16949, AS 9100, PPAP (Production Part Approval Process), IEC/ISO 60812 (FMEA), IEC/ISO 31010 (Riskhantering, metoder för riskbedömning), m.fl. Även standarder som ISO 17450 - Geometrical product specifications (GPS) och ASME 14.5 har studerats eftersom de är väsentliga för arbetet med toleransmodellering i projektet. Projektet har även varit representerat i de internationella standardiserings-kommittéerna, ISO/TC 184/SC 4/WG 15 - Digital manufacturing, och ISO/TC213 - Dimensional and geometrical product specifications and verification.

Som redan nämnt är projektet nyskapande i sitt synsätt på datorstöd för mänskligt beslutsfattande inom beredning och kvalitetssäkring. En konsekvens av att dessa två viktiga processer har betraktats åtskilt varandra är att det i nuläget saknas datorprogram som stöttar det integrerade modelldrivna arbetssätt som projektet förespråkar. Projektet har därför studerat och utvärderat hur existerande applikationer för ett visst ändamål skulle kunna användas i ett nytt sammanhang. T.ex. hur applikationer för toleranskedjeanalys (RD&T, Siemens VSA, Sigmetrix CETOL och 3DCS) skulle kunna användas för analys av variationer vid uppspänning över flera

operationer. Projektets studier av mjukvara för artikelberedning- och kvalitetssäkring har även omfattat analys av toleransmodellering i CAD program (CATIA V5 och Siemens NX), samt programvara för att upprätta PFMEA och Styrplaner (ARAS, ReliaSoft, Siemens TeamCenter, CATIA V6, IQS, m.fl.). För att demonstrera vad modelldriven artikelberedning och kvalitetssäkring skulle kunna innebära har projektet utvecklat en egen applikation, MPQP-Viewer, för modellering och presentation av ISO 10303 (STEP) produkt och processdata. MPQP-Viewer har också utgjort plattform för att utprova och utvärdera olika alternativ för representation och presentation av produktdata i digitala modeller.

De workshopar som genomförts vid flera tillfällen hos de deltagande företagen i projektet har varit viktiga som metod att skaffa kunskap om företagens nuläge och behov. Vid dessa workshopar har projektdeltagarna diskuterat nuläge, delgett varandra erfarenheter från egna genomförda projekt, öppenhjärtligt diskuterat nuvarande arbetsmetoder och verktyg och upplevda tillkortakommanden med dem m.m. Workshoparna har varit mycket uppskattade och genom det stora antal experter som deltagit från varje företag vid workshoparna har dessa, förutom att bidra till den väsentliga kunskap projektet byggt upp, också utgjort utmärkta plattformar för kunskaps- och erfarenhetsutbyte mellan de deltagande företagen.

Avslutningsvis har fallstudier utgjort en väsentlig del. Bl.a. har SAAB utvecklat en fiktiv, men representativ, flygplanskomponent” som sedan använts som testfall av Volvo Cars och AMTEK för att utvärdera effektiviteten av egna arbetsmetoder tillämpade på en icke-intern produkt. För toleranskedjeanalys, kartläggning av vilken information som återfinns i olika dokument, vem som använder den, m.m. har Scania använt en pinjong som fallstudieobjekt. I syfte att demonstrera möjligheter med modelldrivet arbetssätt har projektet utformat ett antal fallstudier vilka i olika sammanhang presenterats för projektdeltagarna med hjälp av den applikation, MPQP-Viewer, som projektet utvecklat. Arbetet med MPQP-Viewer har omfattat utveckling/utökning av datascheman definierade i ISO 10303 (STEP). Även undervisningen på KTH omfattar kursmoment som i sig utgjort en form av fallstudier. T.ex. i kursen MG2036 Datorstödd produktion där ett av kursmomenten är att bereda en enklare prismatisk detalj, upprätta nödvändig tillverkningsdokumentation och sedan tillverka detaljen i en NC-maskin. I uppgiften ingår att bestämma metoder, uppspänning och uppspänningsföljd, välja verktyg, m.m. samt upprätta all nödvändig dokumentation för tillverkning i NC-maskin. En utmaning är dock att kursdeltagarna inte tillverkar sin egen detalj utifrån sitt underlag. De blir tilldelade någon annans underlag att tillverka detaljen från. För att lyckas krävs alltså att a) de som har gjort beredningen har tänkt rätt, b) att de dokumenterat sin process på ett tydligt och ändamålsenligt sätt, och c) att de som tillverkar detaljen tolkar dokumentationen på avsett sätt. Kursdeltagarna dokumenterar och återkopplar också de erfarenheter de gjort vid genomförandet. Dokumentationen utgör ett examinationsmoment men innehåller också mycket värdefull och viktig information om vad som är viktigt att kommunicera till utföraren, vad som kan gå fel om dokumentationen brister, varför det blir fel, vad som borde ha kommunicerats men inte gjordes o.s.v.

4.5 Verifiering

Som redan nämnt (avsnitt 4.2 Tes) utgår projektet från följande två teser:

- Digitala modeller kan bära information som skapats i artikelberedning för vidare användning i kvalitetssäkring och tillverkning.
- Nya och radikalt förbättrade arbetsmetoder kan realiseras genom användande av koherenta digitala modeller vilket kommer att möjliggöra integrerad artikelberedning och kvalitetssäkring.

Den första tesen, att digitala modeller kan bära information som skapats i artikelberedning för vidare användning i kvalitetssäkring och tillverkning, har verifierats genom ett antal olika demonstrationer med MPQP-Viewern. Dessa demonstrationer har inte bara visat att modelldriven artikelberedning och kvalitetssäkring är tekniskt genomförbart. Genom dem har även nya möjligheter att presentera viktig information visats, vilket innebär att även den andra tesen verifierats, dvs. att digitala modeller och modelldriven artikelberedning och kvalitetssäkring möjliggör nya arbetsmetoder med potential att bidra till effektivare beslut och bättre helhetsförståelse inom företaget och mellan kund och leverantörer.

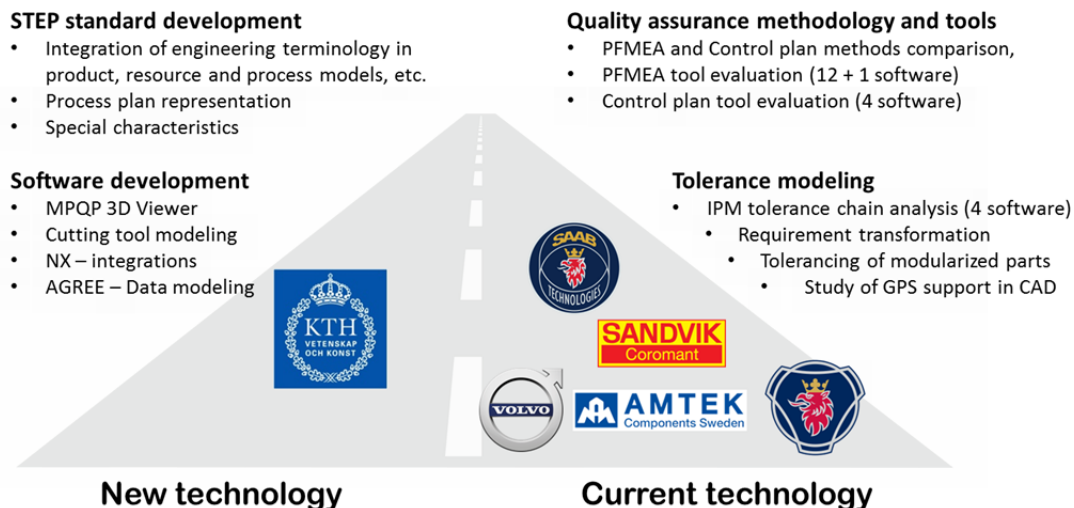
5 Mål

Projektets övergripande och långsiktiga mål har varit att forskningsresultaten ska bidra till att öka produktiviteten vid artikelberedning. I dag förekommer "slöserier" i form av fragmentering av viktig information i olika former av dokument, duplicering av information på grund oförmåga att representera viktig information, samt förluster av informationens innebörd vid översättning mellan olika representationsformat.

- Genom att använda digitala modeller som utnyttjar sammanhängande och enhetlig information i artikelberedning och kvalitetssäkring är en produktivitetssökning på 20 - 40 % i artikelberedning möjlig.
- Det modelldrivna arbetssättet möjliggör också användandet av virtuella metoder för analys av olika processalternativ. Möjligheten att presentera information på olika sätt medför dessutom att det modelldrivna arbetssättet erbjuder mer effektivt stöd för tvärfunktionellt samarbete mellan produktutformning, artikelberedning, kvalitetssäkring och tillverkning. D.v.s. det modelldrivna arbetssättet kan bidra till att skapa ökad gemensam förståelse mellan konstruktörer, artikelberedare, kvalitetsplanerare, produktionsledare, operatörer, underhållspersonal m.m.
- Genom modellbaserad representation av viktig tillverkningsinformation minskar behovet av att lägga tid på att skapa och underhålla dokumentbaserad information. När mänsklig expertis inte längre utnyttjas för att genomföra rutinmässiga uppgifter frigörs samtidigt deras intellektuella kapacitet till att fokusera på nyckelproblem i produktrealiseringen, bidra till innovation, ökat samarbete, och förbättrad kvalitet i beredningsarbetet.

6 Resultat och måluppfyllelse

Projektet har som redan nämnt (avsnitt 4.3 Forskningsfrågor) utgått från de två forskningsfrågorna 1) Hur kan företagen effektivisera sitt arbetssätt genom användandet av idag tillgängliga verktyg för artikelberedning och kvalitetssäkring? Och 2) Hur ska framtida verktyg för integrerad artikelberedning och kvalitetssäkring se ut och fungera? (Figur 6).



Figur 6. Projektets två forskningsspår: 1) möjligheter med nuvarande teknologi, och 2) möjligheter med ny teknologi

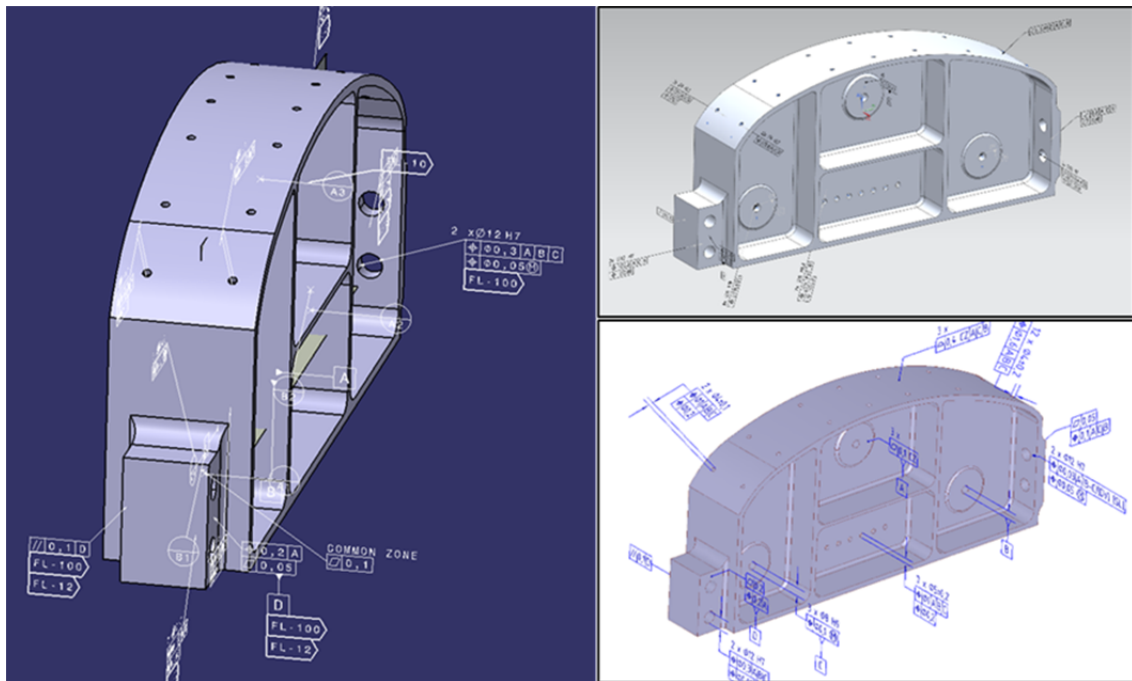
För att besvara den första frågeställningen har projektet genomfört följande aktiviteter:

Toleransmodellering

- Kravtransformation från 3D baserad form- och lägestoleranser till linjärbaserad måttsättning i arbetsinstruktioner för enklare hantering i tillverkningsprocessen. Resultaten visar att sådan transformation kan genomföras - men att det finns outtalade men antagna förutsättningar hur kravinformation ska tolkas. Metodkännedom är en typ av antagen förutsättning, t.ex. att två motvända ytor vars avstånd verifieras med ett skjutmått antas ha vissa geometriska egenskaper som ej finns uttryckta (kravsatta) i modellen.
- Metoder och principer för toleranssättning av modulbaserade produkter. De tekniska förutsättningarna finns men det krävs ett genomtänkt och väl koordinerat arbetssätt för att detta ska fungera bra i praktiken.
- Utvärdering/test av i vilken omfattning Siemens NX11, IDA-STEP and CATIA V5 stödjer den internationella standarden ISO 17450 - Geometrical product specifications (GPS). Vid utvärderingen har det visat sig att det integrerade stödet för toleranssättning som styr vad för slags toleranser som kan sättas i vissa sammanhang inte fungerar fullt ut i alla situationer. Ingen av de utvärderade programmen stödjer inte heller GPS fullt ut (Figur 7). De olika standarder som det hänvisas till i programmens referensdokumentation är heller inte alltid aktuella. I dokumentationen för NX11 sägs t.ex. att programvaran stöder standarderna ANSI Y14.5M:1982, ASME Y14.5M:1994 och ISO 1101:1983. Men de två förstnämnda standarderna har dock utgått och ersatts av ASME Y14.5:2009, och ISO 1101:1983 har sedan 1983 ersatts vid tre tillfällen, 2004, 2012 och 2017 där nu gällande standard är ISO 1101:2017.

Toleranskedjeanalys av variationer vid uppspänning

- De tre programmen RD&T, Siemens VSA, Sigmetrix Cetol, och 3DCS har testats och utvärderats i form av olika delprojekt under projektets genomförande. Då tillämpningsområdet är en form av nytänkande finns ännu ingen särskilt utvecklad applikation för denna typ av analys tillgänglig på marknaden. Samtliga utvärderade och testade program är alla avsedda för toleranskedjeanalys av sammanbyggda produkter.

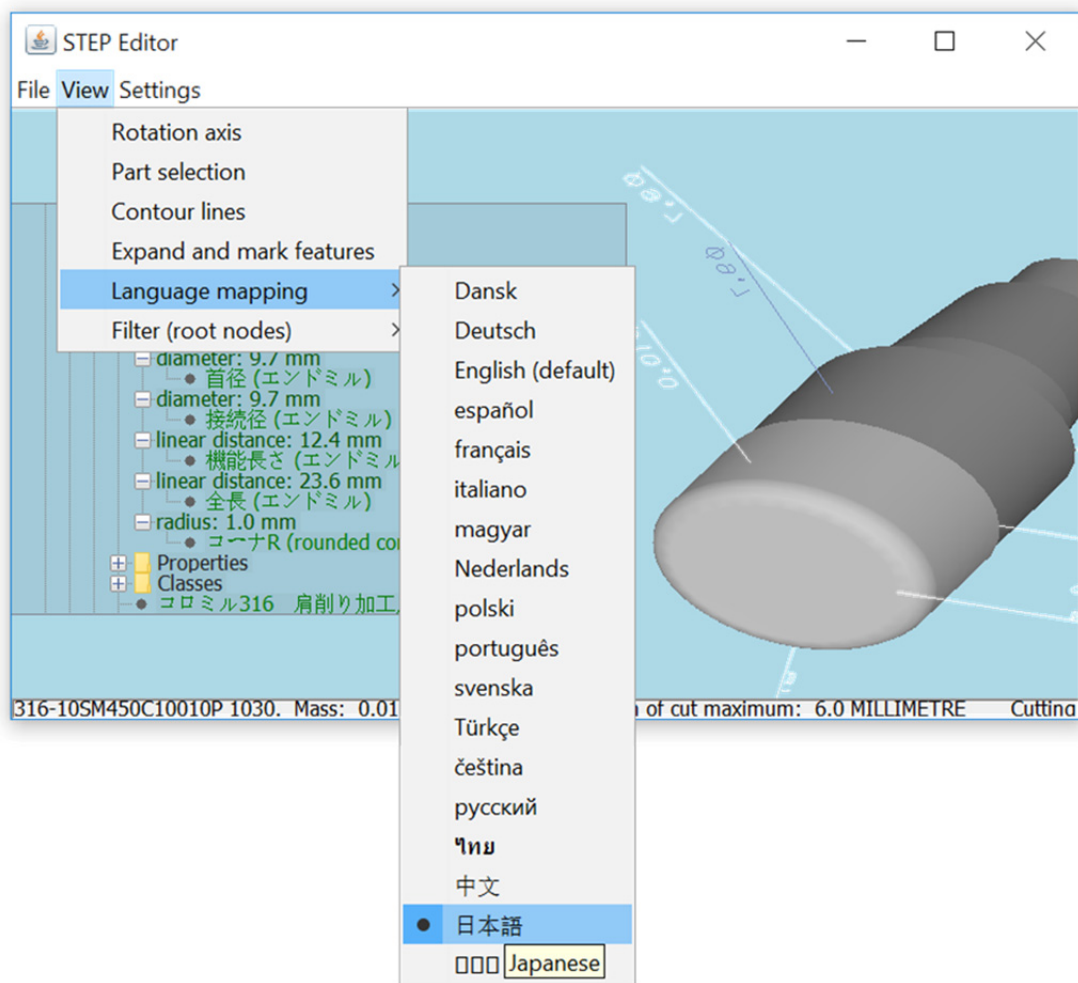


Figur 7. Utvärdering av 3D toleransmodellering för SAABs fallstudieartikel i CATIA V5 (vänster), Siemens NX 11 (höger, högst upp) och IDA-STEP (vänster, längst ned)

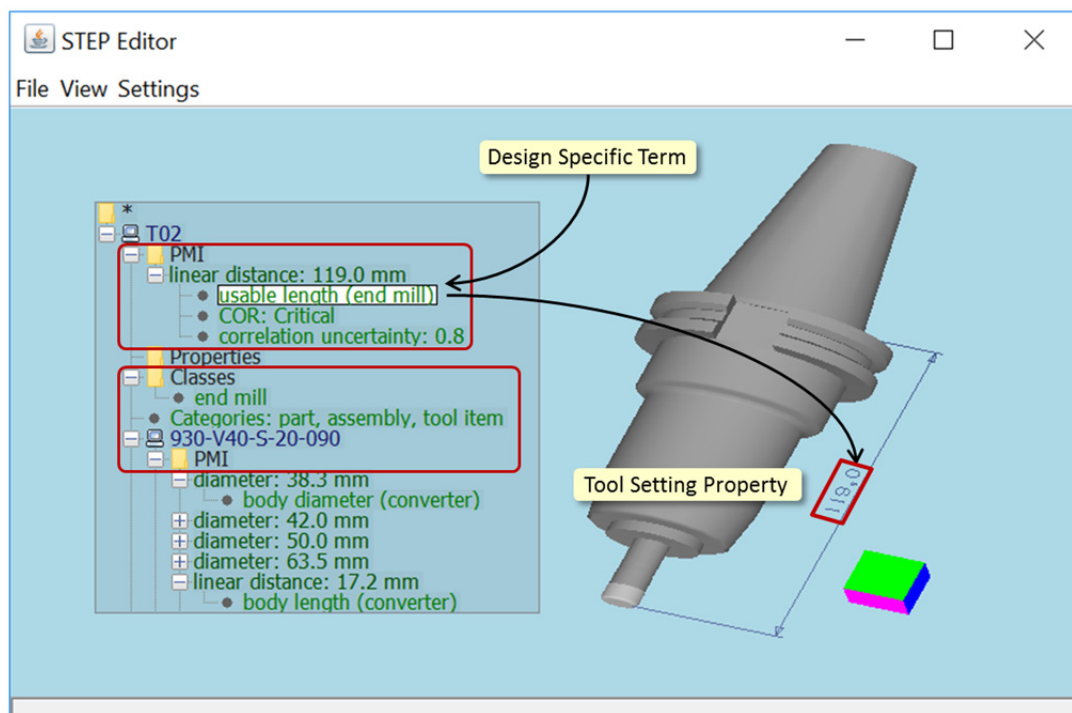
Verktyg för datorstödd kvalitetssäkring

- Verktyg för att genomföra PFMEA har studerats av Volvo Cars, Scania och KTH. Bl.a. genomförde Volvo Cars en omfattande studie av 12 olika programvaror för datorstödd PFMEA. De system som studerats är bl.a. ReliaSoft XFMEA, Dassault CATIA V6, PTC, Siemens TeamCenter, IQS, ARAS m.fl. Samtliga studerade program är i princip verktyg för datorstödd framtagning av de dokument som t.ex. ISO/TS 16949 kräver. De har alla sina olika styrkor och svagheter. T.ex. stödjer ingen av dem PFMEA för 3D-modeller. Genom att effektiv integration mot beredningssystem saknas innebär också arbetssättet i de studerade programmen att redan existerande information behöver skapas på nytt, t.ex. när processflöde för produkten ska anges. Därmed bidrar de också till att öka mängden fragmenterad och duplicerad information. Dock skall det sägas att denna typ av program, trots identifierade tillkortakommanden är väsentligt bättre alternativ till att skapa och underhålla egna PFMA-blanketter i MS-Excel.

När det gäller den andra frågeställningen, hur framtida verktyg för integrerad artikelberedning och kvalitetssäkring ska se ut och fungera, har projektet använt, och utökat den internationella standarden ISO10303 (STEP) med bl.a. representation av s.k. "speciella egenskaper", dvs. produktens egenskaper som påverkar säkerhet, kundupplevelse, lagkrav, m.m. Representation av processflöde (operationer och operationsföljd), koppling till felsätt och propagering av fel, samt mät- och kontrollmetoder (styrplan) för produktkrav, i ISO 10303-242 - Managed model-based 3D engineering har utforskats tillsammans med metoder för att integrera ingenjörsterminologi i produkt, process och resursmodeller. Resultaten av detta arbete har demonstrerats i form av olika fallstudier med hjälp av projektets egenutvecklade MPQP-Viewer. Ett centralt tema i dessa fallstudier har varit att visa på möjligheterna med att använda informationsstandarder som bygger på EXPRESS-G (ISO 10303-11). EXPRESS-G erbjuder standardiserad grafisk notation av informationsmodeller. Standarder som använder EXPRESS-G kan därför integreras och dela information med varandra. En möjlighet som i projektet utnyttjats för att integrera och i MPQP-Viewern presentera skärvertygsterminologi ur ISO 13399 - Cutting tool data representation and exchange, i kombination med 3D produktmodeller representerade med ISO 10303-242. Detta möjliggör bl.a. att tillhandahålla språkstöd (Figur 8) och koppling av signifikanta termer till dimensioner i en 3D produktmodell (Figur 9).



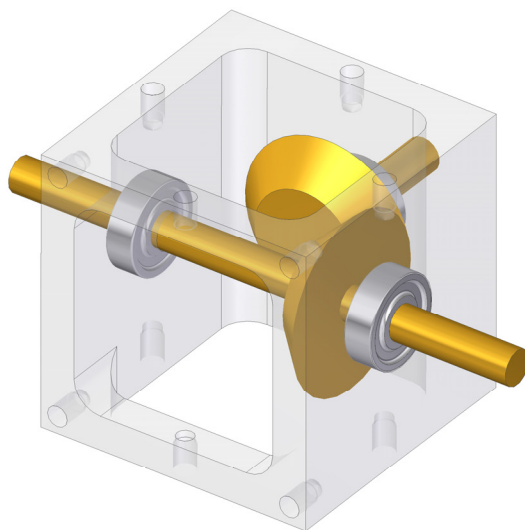
Figur 8. Stöd för presentation av verktygstemer på olika språk i MPQP-Viewer



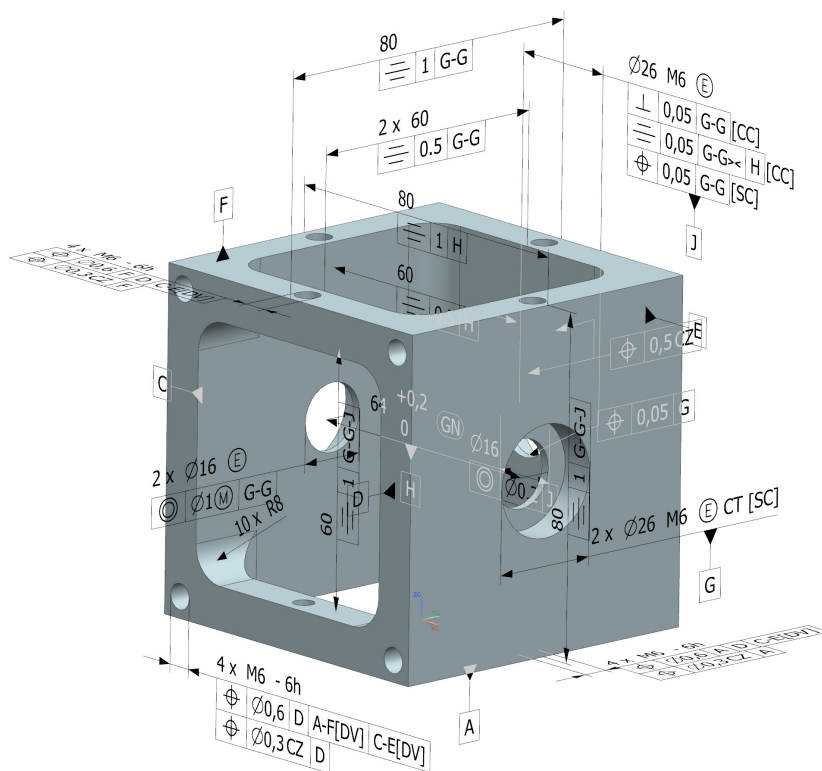
Figur 9. Representation och presentation av verktygstemer och dess värde relaterat till 3D-modell

6.1 Boxy – en demonstrator för modelldrivet arbetssätt

För att på bästa sätt demonstrera vad modelldriven integrerad artikelberedning och kvalitetssäkring skulle kunna innebära har den fiktiva produkten Boxy använts som objekt i en omfattande fallstudie. Boxy är utvecklad vid KTH-Industriell produktion och har använts frekvent som objekt i olika demonstrationer inom det internationella standardiseringsarbetet i kommittén ISO/TC 184/SC 4/WG 15 - Digital manufacturing, bl.a. vid BOEING och NIST i USA. Boxy kan kort sägas representera en förenklad vinkelväxel med funktionen att ändra vinkel- och riktning på en ingående roterande rörelse. Den exakta utformningen för att möjliggöra funktionen är i sammanhanget av underordnad betydelse. Vad som är relevant är att det finns formelement med samverkande funktion vilket ställer krav på viss noggrannhet vid tillverkning, och följaktligen ha betydelse för de beslut som fattas i artikelberedning.

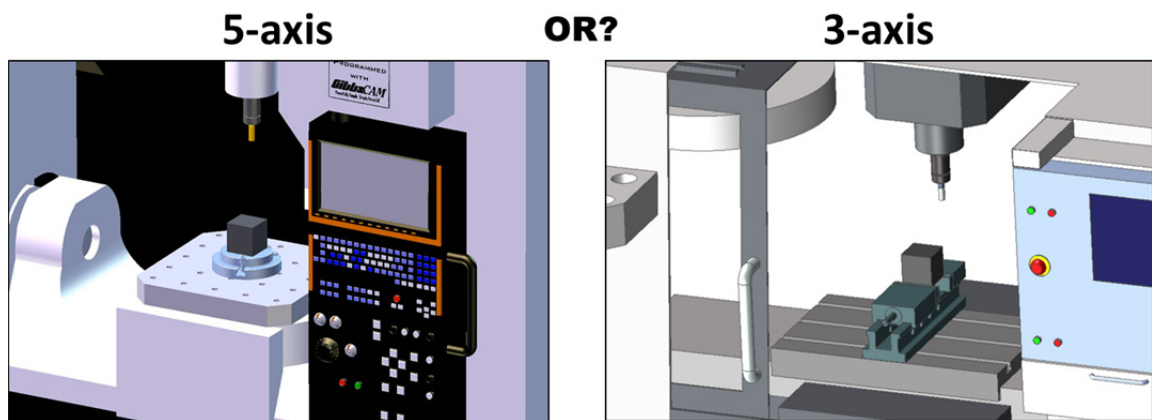


Figur 10. Boxy, en fiktiv produkt representerande en slags vinkelväxel



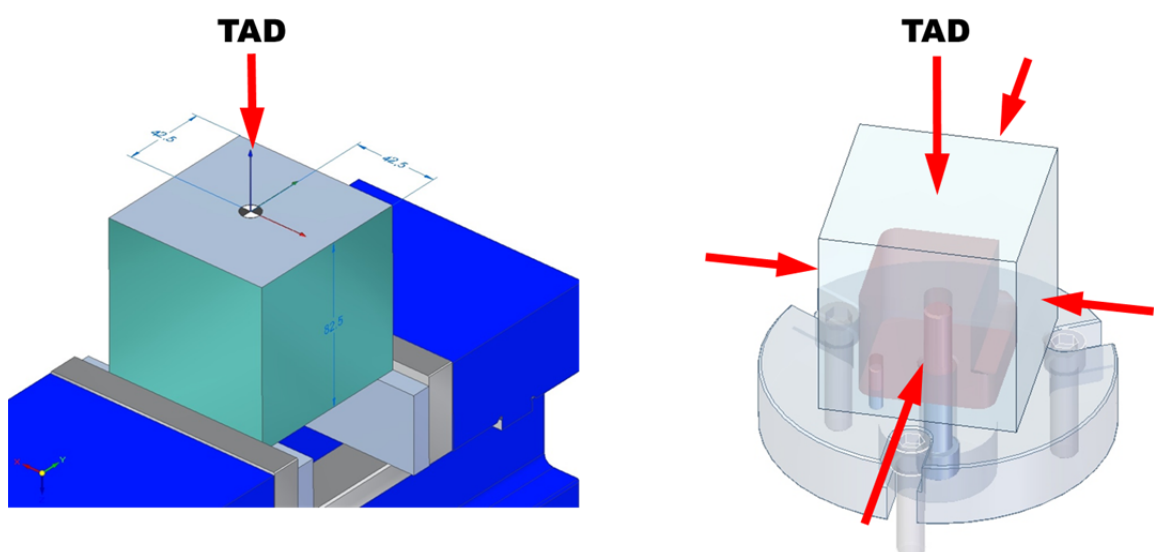
Figur 11. Funktionsbaserad mått- och toleranssättning av Boxy

En initial och fundamental fråga vid beredning av en detalj som Boxy är vilka förutsättningar som föreligger. Om t.ex. en 5-axlig fleroperationsmaskin finns tillgänglig för tillverkning kommer det att resultera i en viss form av metodupplägg och uppspänning som drar nytta av den 5-axliga maskinens möjligheter, jämfört med om endast en 3-axlig maskin finns tillgänglig.



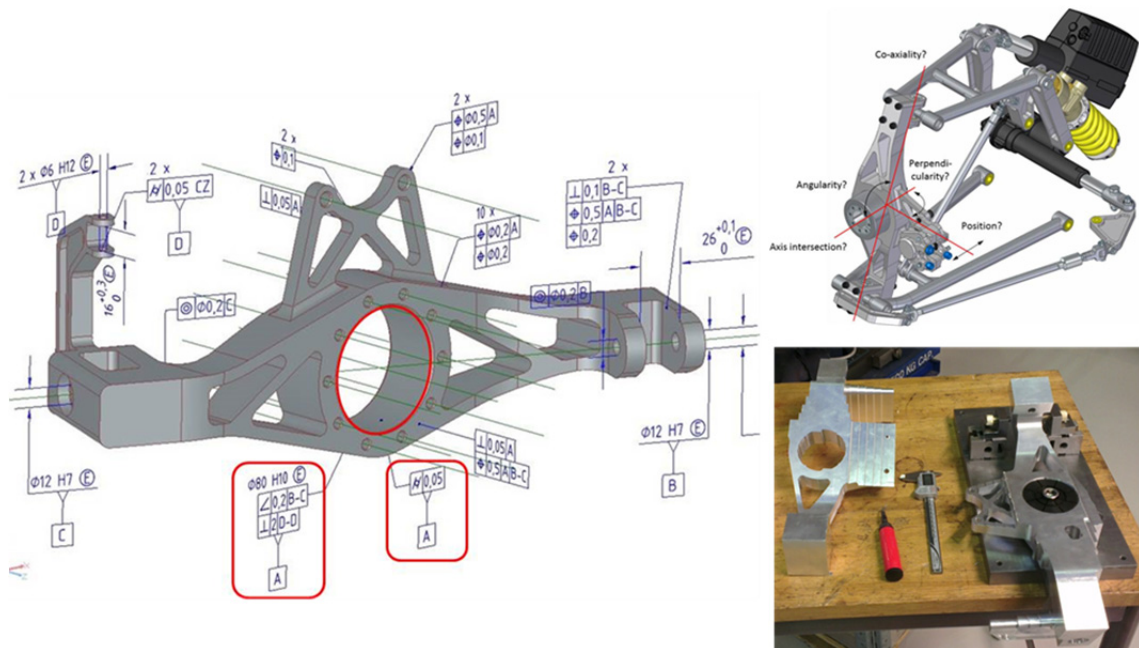
Figur 12. Olika maskinkonfiguration inverkar på de beslut som tas vid artikelberedning

I och med att den 5-axliga maskinen kan rotera ämnet runt två av sina axlar kan de tre samverkande lagersätena på detaljen ($\varnothing 26$ M6) bearbetas i en och samma uppspänning. Ett sådant upplägg är gynnsamt genom att man därigenom eliminerar uppkomsten av toleranskedjor mellan lagersätena. Om endast en 3-axlig maskin finns tillgänglig behöver ämnet positioneras om för varje lagersäte som ska framställas. Ett sådant upplägg är mer komplicerat och kräver en genomtänkt metodik för att använda lokaliseringssytor på ett konsekvent sätt. Riskerna för fel vid 3-axlig bearbetning är därför betydligt större än för motsvarande 5-axlig bearbetning. Beroende på vilka förutsättningar som föreligger kan också olika uppspänningsalternativ vara möjliga. Man kan t.ex. använda ett standardskruvstycke både för 3-axlig och för 5-axlig bearbetning. Men 5-axlig bearbetning erbjuder en möjlighet att använda en del av ämnet för uppspänningsändamål och på så sätt erbjuda bättre åtkomlighet runt om ämnet. Just detta, att man i beredning identifierar en möjlig funktion i en form och använder denna funktion på ett ändamålsenligt sätt är ett exempel på design i artikelberedning. Detta, att artikelberedning även omfattar design, är en viktig insikt från projektet men samtidigt något som har fått mycket liten, om ens någon uppmärksamhet i tidigare forskning.



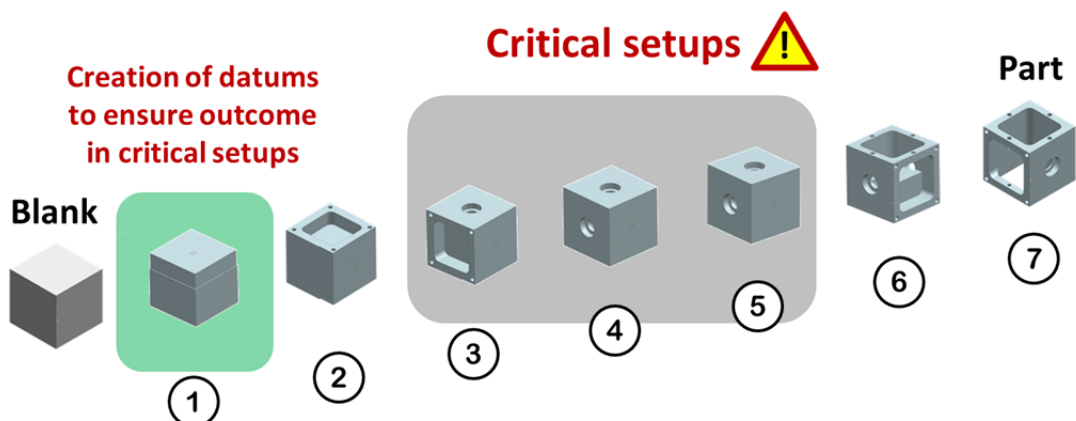
Figur 13. Olika maskinkonfigurationer erbjuder olika åtkomlighet. En 3-axlig maskin är begränsad till att enbart bearbeta från en riktning (TAD = Tool Approach Direction) medan en 5-axlig dito kan bearbeta fem sidor i en och samma uppspänning

Insikten att artikelberedning även omfattar design är betydelsefull eftersom avsikten med en viss utformning kan vara betydelsefull ur kvalitetssäkringssynpunkt. En robust tillverkningsprocess där t.ex. förutsedda möjliga felsätt har eliminerats genom en "smart" utformning av tillverkningsprocessen kan genom sin utformning bidra till att reducera behovet av mätning och kontroll. Information om hur beredaren tänkt och varför är viktig men kommuniceras idag inte i den utsträckning det borde göras i industriella sammanhang. Nedan (Figur 14) är ett exempel på en produkt där ett formelement har olika funktioner ur konstruktionssynpunkt och tillverkningssynpunkt. Om man vid kvalitetssäkring enbart betraktar felsätt som kan påverka produktens avsedda funktion ur konstruktionssynpunkt men missar att det samtidigt kan förekomma mått, utformning, m.m. som ur tillverkningssynpunkt är funktionellt viktiga, så kan det bidra till att skapa problem vid tillverkning och i sig bli en källa till fel.



Figur 14. Exempel på produkt med formelement som har produkt- och uppspänningsfunktion

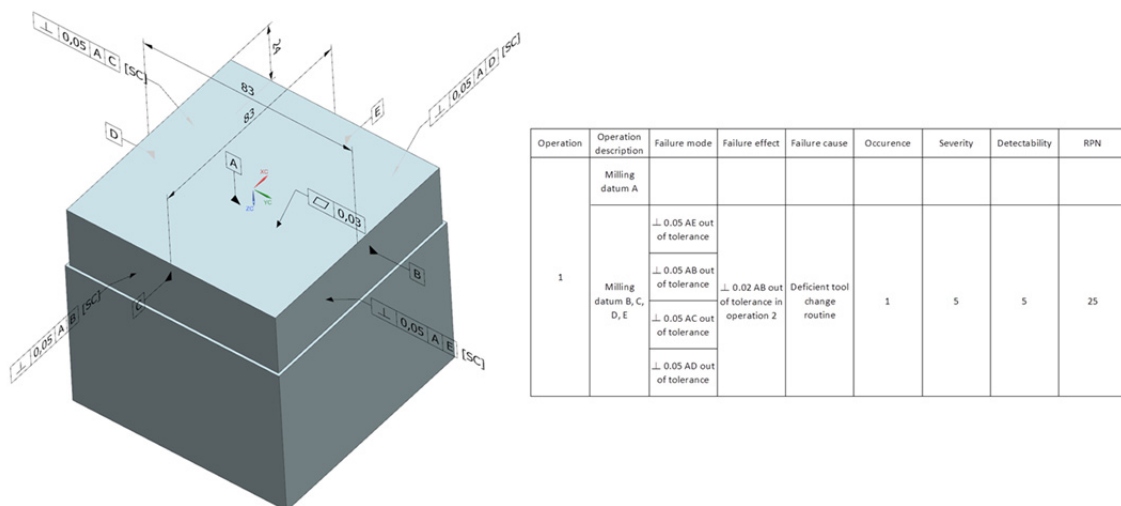
Förutsättningarna för tillverkning av den fiktiva produkten Boxy i denna fallstudie bestämdes till att vara bearbetning i en 3-axlig maskin. Även om detta inte är den erfarne beredarens förstahandsalternativ så är det metodupplägg som använts i fallstudien realistiskt och representativt för förutsättningar som skulle kunna föreligga i verkligheten. Rent principiellt är det de inbördes kraven (vinkelräthet, symmetri och lägeriktighet) mellan de tre lagersätena (Figur 10), samt deras diameter ($\varnothing 26$ M6) som en beredare kommer att vilja ha god kontroll över. Utöver dessa krav är övriga tillverkningskrav annars ganska generösa.



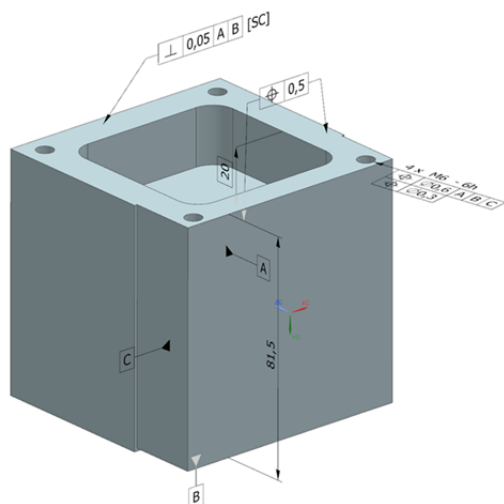
Figur 15. Schematiskt metodupplägg för Boxy

Andra aspekter som troligtvis skulle fånga en beredares uppmärksamhet är strukturen som är relativt vek vilket gör det motiverat att beakta elastisk deformation vid uppspänning och dess

möjliga inverkan på slutresultatet. För att den veka strukturen inte ska inverka negativt på processens förmåga att framställa de tre lagersätena enligt angivna tillverkningskrav så avvaktar man här med att "öppna" upp strukturen så länge som möjligt. Av samma anledning väljer man också att inte ta bort något invändigt material i första uppspänningen som i stället görs i en sjunde och avslutande uppspänning. Förutom att eftersträva så rigid struktur som möjligt är en annan god anledning att också att åstadkomma bästa möjliga lokaliseringsyta för uppspänning 2, 3, 4, 5 och 6. Det steg som framställs runtom toppen av detaljen i första uppspänning är ett exempel på design i beredning. Syftet med detta steg är att skapa en ändamålsenlig form som kan fungera lokaliseringsyta i uppspänning 2 och 3. Att bearbeta steget runtom är egentligen inte nödvändigt eftersom endast två sidor behövs för att åstadkomma avsedd lokaliseringsfunktion. Ur funktionssynpunkt är det därför inte nödvändigt att framställa ett steg runtom hela detaljen. Men i det här fallet har beredaren tänkt utifrån ett "Poka Yoke" resonemang och valt att göra steget hela vägen runtom eftersom risken att vända detaljen fel vid efterföljande uppspänning mer eller mindre elimineras genom detta tillvägagångssätt. Man kan uttrycka det som att processen blir mer robust till priset av framställningen av två redundanta ytor. Det steg som framställs i andra uppspänningen fyller tillsammans med topplanet en viktig funktion ur tillverkningssynpunkt. Efter femte uppspänningen är dock steget runtom fullständigt borttaget och inga spår av denna funktion går att återfinna på den slutliga detaljen. Detta resonemang är intressant eftersom ett okritiskt tillämpande av den grundläggande principen i LEAN, att allt som kunden inte vill betala för är slöserier som ska elimineras, skulle kunna resultera i att framställningen av steget tas bort. Den fyller ju ingen funktion på den färdiga detaljen, den återfinns ju inte ens där – varför då göra en sådan onödig bearbetning? Kanske den oinsatte tänker? Men som sagt, steget fyller i sammanhanget 3-axlig bearbetning en viktig funktion. Om det togs bort skulle det troligtvis inte gå att framställa de tre lagersätena enligt angivna tillverkningskrav. Under alla omständigheter skulle det bli betydligt svårare och större risk för fel i processen. För att säkerställa att den första kritiska uppspänningen blir rätt har beredaren specificerat ett antal processrelaterade krav som t.ex. en planhetstolerans på toppytan och ett vinkelräthetskrav på steget runtom. Av PFMEA:n (Figur 16) framgår att ett möjligt felsätt i denna uppspänning är att det framställda steget runtom inte uppfyller det satta vinkelräthetskravet, kanske p.g.a. ett slitet verktyg som inte bytts ut i tid, vilket leder till ett följdfel i nästa uppspänning (Figur 17).



Figur 16. PFMEA och processrelaterade tillverkningskrav för uppspänning 1



Operation	Operation description	Failure mode	Failure effect	Failure cause	Occurrence	Severity	Detectability	RPN
2	Load blank	Damaged surface A						
		0.02 AC out of tolerance in op 3	Swarfs on location surfaces		2	8	1	16
		0.02 ABC out of tolerance	Swarfs on location surfaces					
	Tapping M6 (4x)	0.6 ABC out of tolerance	Lid will not fit in assembly	Insufficient lubrication	2	5	1	10
		Broken tap	Impossible to assemble lid	Improper tool change frequency	3	5	1	15
					1	5	1	5

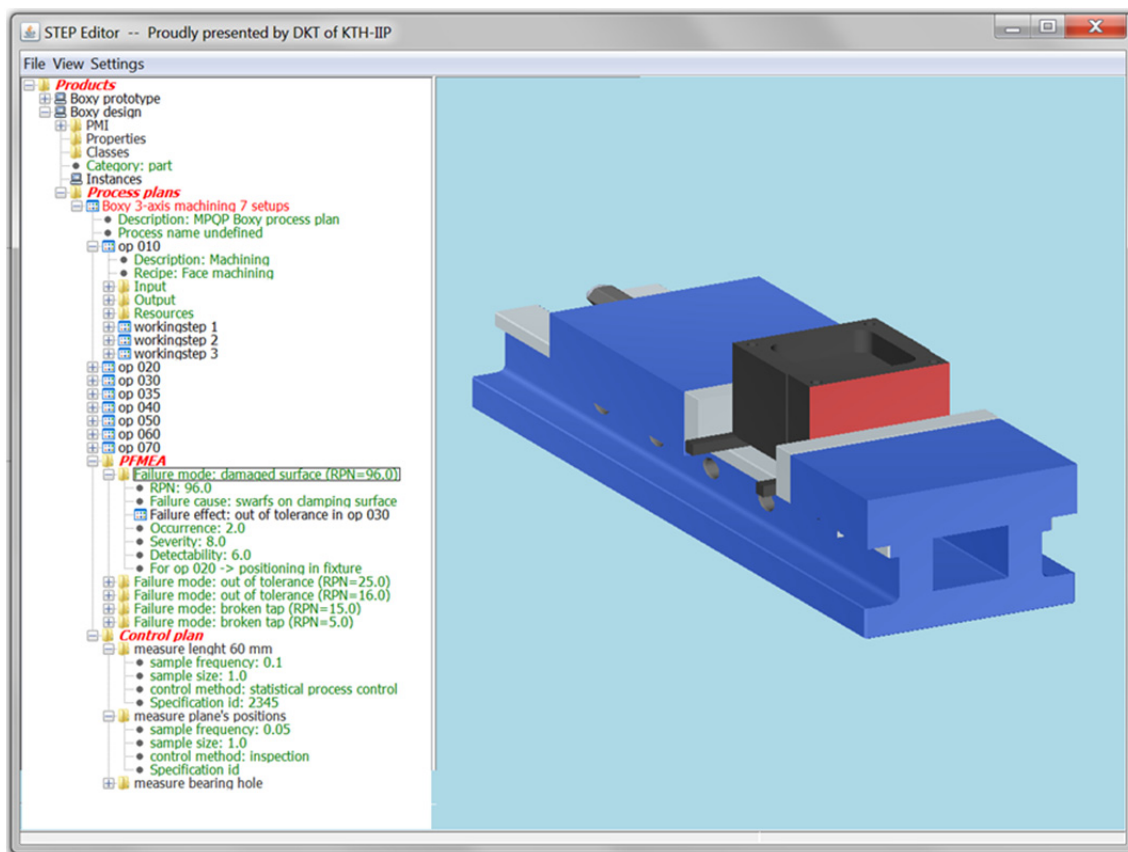
Figur 17. PFMEA och processrelaterade tillverkningskrav för uppspänning 2

Anvisningar för mätning och kontroll av varje enskilt operationssteg, omfattande mätmetod, mätton, mätfrekvens och åtgärder vid avvikelser framgår av Styrplanen (Figur 18) som upprättats samtidigt med beredning och riskanalys (PFMEA)

Op Face	Sub operation	ID	Prod. char.	Proc. char.	Spec. char.	Ref. datum	Nom. value	Tolerance	Modifier	Control method	Control device	Sample size	Control frequency	Reaction plan
1	A	Milling face A	(1:1)				81.5	0.03		Inspection	CMM	1	2/100	
		Milling face A	(1:2)				81.5	General		Inspection	Vernier caliper	1	2/100	Adjust tool length compensation
		Milling step depth 24	(1:3)		SC	AE	0.05			Inspection	CMM	1	4/100	Replace tool
		Milling step depth 24	(1:4)		SC	AB	0.05			Inspection	CMM	1	4/100	Replace tool
		Milling step depth 24	(1:5)		SC	AC	0.05			Inspection	CMM	1	4/100	Replace tool
		Milling step depth 24	(1:6)		SC	AD	0.05			Inspection	CMM	1	4/100	Replace tool
		Milling step depth 24	(1:7)				24	General		Inspection	Vernier caliper	1	2/100	Adjust tool length compensation
		Milling step depth 24	(1:8)				83	General		Inspection	Vernier caliper	1	2/100	Adjust tool diam compensation
		Milling step depth 24	(1:9)				83	General		Inspection	Vernier caliper	1	2/100	Adjust tool diam compensation
Op Face	Description	ID	Prod. char.	Proc. char.	Special char.	Ref. datum	Nom. value	Tolerance	Modifier	Control method	Control device	Sample size	Control frequency	Reaction plan
2	D	Milling face D	(2:10)		SC	AB	81.5	0.05		Inspection	CMM	1	4/100	
		Milling face D	(2:11)				81.5	General		Inspection	Vernier caliper	1	2/100	Adjust tool length compensation
		Milling square pocket	(2:12)				20	0.5		Inspection	CMM	1	2/100	Adjust tool length compensation
		Milling square pocket	(2:13)				60	General		Inspection	Vernier caliper	1	2/100	Adjust tool diam compensation
		Milling square pocket	(2:14)				60	General		Inspection	Vernier caliper	1	2/100	Adjust tool length compensation
		Milling square pocket	(2:15)				8	General		Inspection	Scale loupe	1	2/100	Adjust tool length compensation
		Drilling 4 x 5	(2:17)				18	General		Inspection	Vernier caliper	1	2/100	Adjust tool length compensation
		Drilling 4 x 5	(2:18)				0.5			Inspection	CMM	1	2/100	Replace tool
		Drilling 4 x 5	(2:19)			ABC	0.6			Inspection	CMM	1	2/100	Replace tool
		Tapping 4 x M6 - 6h	(2:22)				12	General		Attribute data	Thread plug gage	1	2/100	Adjust tool length compensation
3	E	Tapping 4 x M6 - 6h	(2:23)		Fit		6h			Attribute data	Thread plug gage	1	2/100	Replace tool
		Milling face E	(3:24)		SC	AC	81.5	0.02		Inspection	CMM	1	4/100	
		Milling face E	(3:25)				81.5	General		Inspection	Vernier caliper	1	2/100	Adjust tool length compensation
		Drilling 26	(3:26)				16	General		Inspection	Vernier caliper	1	2/100	Replace tool
		Drilling 26	(3:27)				8	General		Inspection	Vernier caliper	1	2/100	Adjust tool length compensation
		Rough milling 26	(4:35)				8	General		Inspection	Vernier caliper	1	2/100	Adjust tool length compensation
		Fine boring 26	(4:36)				26	M6		SPC	Hole micrometer	1	1/10	Adjust tool diam compensation
		Fine boring 26	(4:37)				26	M6	E	Attribute data	Plug gauge	1	2/100	Contact process planner
		Fine boring 26	(4:38)				26	M6	E	Attribute data	Plug gauge	1	2/100	Contact process planner
		Fine boring 26	(4:39)		CC	ACD	0.02			Inspection	CMM	1	4/100	Contact process planner
Op Face	Description	ID	Prod. char.	Proc. char.	Special char.	Ref. datum	Nom. value	Tolerance	Modifier	Control method	Control device	Sample size	Control frequency	Reaction plan
4		Milling face B	(4:33)				80	General		Inspection	Vernier caliper	1	2/100	Adjust tool diam compensation
		Drilling 26	(4:34)				16	General		Inspection	Vernier caliper	1	2/100	Replace tool
		Drilling 26	(4:35)				8	General		Inspection	Vernier caliper	1	2/100	Adjust tool length compensation
		Rough milling 26	(4:36)				8	General		Inspection	Vernier caliper	1	2/100	Adjust tool length compensation
		Fine boring 26	(4:37)				26	M6		SPC	Hole micrometer	1	1/10	Adjust tool diam compensation
		Fine boring 26	(4:38)				26	M6	E	Attribute data	Plug gauge	1	2/100	Contact process planner
		Fine boring 26	(4:39)		CC	ADE	0.02			Inspection	CMM	1	4/100	Contact process planner

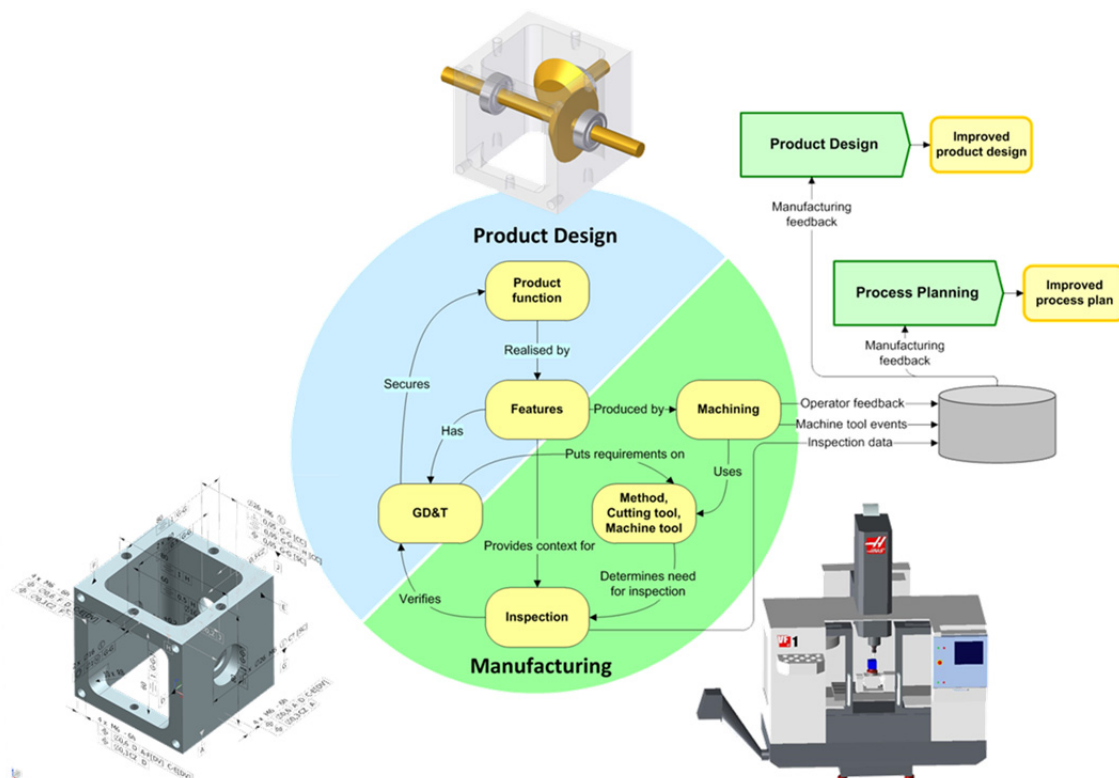
Figur 18. Delmängd av styrplan för Boxy

För att demonstrera några av möjligheterna med modelldrivet arbetssätt implementerades beredningen för Boxy, inklusive PFMEA och Styrplan i en digital modell (ISO 10303-242) vars information sedan presenteras i projektets egen utvecklade applikation, MPQP-Viewer. Skärmdumpen nedan (Figur 19) visar hela beredningen för Boxy, alla dess uppspänningar och enskilda operationssteg, inklusive PFMEA och Styrplan. I det exempel som visas i Figur 19 har man valt att presentera felsätt ordnat efter RPN (Risk Prioritets Nummer) där felsätt med högre RPN visas högst upp i listan. Tanken med detta sätt att presentera felsätt, ordnat efter RPN är att en användare snabbt ska kunna orientera sig om vilka felsätt/risker man i första hand bör vara uppmärksam på. Felsätt är också associerade till ytor i den digitala modellen vilket gör det möjligt att med färger uppmärksamma användaren om konsekvenser/effekter av ett felsätt, var effekterna av ett eventuellt fel kan komma att påverka. I exemplet som visas (Figur 19) är ytan röd därför att eventuell kvarvarande spår på fixtures lokaliseringsyta (fast back) kan medföra att ytan förstörs vid fastspänning.



Figur 19. Exempel på modelldriven hantering av felsätt och styrplan i en beredning

Även om det inte implementerades i just den här demonstrationen så finns inga tekniska hinder för att även lägga in annan demonstrerad funktionalitet som t.ex. stöd för olika språk (Figur 8), eller att koppla ingenjörskrelaterade termer till egenskaper, ytor i modeller m.m. (Figur 9).



Figur 20. Modelldrivet arbetssätt erbjuder ett sammanhang för information i produktionssystemet

Rent principiellt representerar även den demonstrerade modellen (Figur 19) en form av instruktion i sig eftersom den innehåller mycket av den väsentliga information man behöver känna till och kommunicera på verkstadsgolvet. Det finns heller inga tekniska begränsningar med standarden ISO 10303 som skulle omöjliggöra implementering av mer renodlade instruktionsanvisningar, förklaringar, eller motiveringar till beslut (design rationale). Sådan information skulle t.ex. kunna hanteras i definierade vyer av modellen där olika roller bestämmer vem som ska få se vilken information. Utöver det som demonstrerats i den här fallstudien erbjuder också det modelldrivna arbetssättet intressanta möjligheter att återkoppla produktionsdata till digitala modeller och ge den informationen ett sammanhang. Modelldriven återkoppling skulle därigenom kunna bidra till förbättrad produktutformning och bättre beredningar (Figur 20).

6.2 Måluppfyllelse

I ansökan angavs att projektet skulle leda till en 20 – 40 % ökning av produktiviteten i beredning. Detta mål är av naturliga orsaker svårt att följa upp eftersom det i dagsläget saknas data att jämföra med. Att besvara frågan "Hur lång tid tar det att bereda och kvalitetssäkra en viss produkt?" är inte trivialt – det beror på vad de är för produkt, vilka förutsättningarna är m.m. Vad som däremot låter sig göras är att resonera och göra antaganden utifrån egna erfarenheter. Frågan om i vilken omfattning modelldriven integrerad artikelberedning och kvalitetssäkring skulle kunna leda till ökad produktivitet blir en tolkning utifrån det vi vet genom de workshoppar som genomförts och den återkoppling experter (beredare, produktionstekniker) vid de deltagande företagen gett när projektresultaten demonstrerats. De ser potentialen med det modelldrivna arbetssätt och de metoder projektet presenterat och deras respons har varit mycket positiv. Utöver värdet i att kunna effektivisera beredningsprocessen finns det naturligtvis också stora vinster i att erbjuda effektivare sätt att kommunicera beslut tvärfunktionellt inom företag, och mellan företag, t.ex. mellan kund och underleverantör. Det är projektets uppfattning att det modelldrivna arbetssätt som utvecklats och demonstrerats i projektet har potential att på ett ännu effektivare sätt uppfylla syftet med PPAP (Production Part Approval Process) som är att:

"tillhandahålla bevis för att alla kundens specificerade krav är rätt uppfattade av leverantören och att tillverkningen har potential att konsekvent uppfylla dessa under det som motsvarar full produktion"

Projektet har bidragit till att uppfylla FFI-programmets övergripande mål genom att:

- Projektet har genom nya doktorsexamina, forskningspublikationer, internationellt samarbete inom standardisering, m.m. bidragit till att upprätthålla och vidareutveckla den etablerade och internationellt erkända forskningsposition som KTH har inom modelldriven tillverkning.
- Presenterade resultat har stor potential att vidareutvecklas genom fortsatt forskning och bidra till innovativt tänkande inom artikelberedning där fortsatt utveckling av datorprogram och internationella standarder sammantaget kommer att möjliggöra ökad konkurrensförmåga för den svenska fordonsindustrin.
- Forskningsresultat i form av nya kursmoduler i ingenjörsutbildningen leder till att fler civilingenjörer får fördjupade kunskaper om artikelberedning, kvalitetssäkring och modelldrivet arbetssätt. Välutbildade ingenjörer är en förutsättning för att svensk fordonsindustri ska vara fortsatt konkurrenskraftig, kunna växa och erbjuda fler jobb-möjligheter.
- Projektets sammansättning med deltagare från fordonstillverkare (Scania, Volvo) och deras underleverantörer (Amtek, Leax), flygindustri (SAAB) och världens största tillverkare av skärande verktyg och hållare (Sandvik Coromant) har medfört ett mycket stort ömsesidigt kunskaps- och erfarenhetsutbyte mellan företagen till nytta för alla deltagande parter.
- Projektets forskningsresultat indikerar en väg framåt som kan bidra till snabbare och mer exakta beredningar samt ökad effektivitet i geometri- och kvalitetssäkring. Digital representation av operationer och operationsgång, risker och möjliga felsätt (PFMEA) samt

mät- och kontrollmetoder (Styrplan) i ett gemensamt sammanhang möjliggör systematiskt användande av virtuella metoder i artikelberedning och kvalitetssäkring. Modelldriven geometri och kvalitetssäkring medför förbättrade möjligheter att relatera och kommunicera produktkrav, tillverkningsprocess och mätinformation och sätta sådan information i ett sammanhang, vilket sammantaget resulterar i ytterligare förbättrad kontroll av kvaliteten i tillverkningen. Således har projektresultaten stor potential att bidra till att utveckla framtida konkurrenskraftiga tillverkningssystem med rätt nivå av flexibilitet, kapacitet och kapacitet.

- Det modelldrivna arbetssätt som utvecklats och presenteras i projektet, implementerat i ändamålsenliga datorsystem för att stötta mänskligt beslutsfattande medför att värdet av ingenjörernas arbetsinsats i produktionen ökar när de inte behöver ägna tid åt att underhålla och hantera fragmenterad och duplicerad information i olika former av kvalitetsstyrande dokument. Såsom demonstrerat i projektet där artikelberednings- och kvalitetsäkringsinformation presenteras på ett integrerat sätt i sammanhängande digital modell, har det modelldrivna arbetssättet stor potential att bidra till förbättrad förmåga att förmedla och utveckla produktionsteknisk kompetens, främja tvärfunktionellt arbete och öka förståelsen mellan olika discipliner vid produktframtagning.

7 Spridning och publicering

Projekresultat har förmedlats genom doktorsavhandlingar, publikationer, examensarbeten, tekniska presentationer, workshopar och undervisning:

7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projekresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Se not 1 nedan
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Se not 2 nedan
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Se not 3 nedan
Introduceras på marknaden		Se not 4 nedan
Användas i utredningar/regelverk/ tillståndsärenden/ politiska beslut	X	Se not 5 nedan

Not 1: *Projekresultat i form av MPQP –viewer för demonstration av modelldriven artikelberedning och kvalitetssäkring. Genom att demonstrera principer för hur kvalitetssäkrande information kan representeras och kommuniceras genom digitala modeller visar projektet att det föreslagna arbetssättet tekniskt sett är möjligt och att sättet att presentera informationen kan bidra till att skapa bättre gemensam förståelse. De genomförda demonstrationerna har tagits emot med stort intresse från industrirepresentanterna i projektet. MPQP - Viewern (som demonstrerar att modelldrivnet arbetssätt är möjligt) och industrins mottagande vid demonstrationer (där industrirepresentanter spontant ser och börjar diskutera potentialen med modelldriven artikelberedning och kvalitetssäkring) visar att det finns en fungerande teknik, ett behov och ett intresse för denna teknik. Därmed är MPQP –viewern och de exempel som demonstrerats viktiga bidrag till att öka kunskapen inom området.*

Not 2: *Vid avslutat projekt finns inga specifikt utpekade forskningsprojekt, eller forskningssamarbeten genom vilka forskningsresultat från MPQP ska föras vidare. Men MPQP bygger på och har vidareutvecklat forskningsresultat från tidigare projekt som MERA-ModArt, FFI-FBOP, FFI-DFBB m.fl. Även om några specifika samarbeten ännu inte är utpekade kommer resultaten från FFI MPQP att bidra till fortsatt utveckling inom modelldrivnet arbetssätt inom artikelberedning, kvalitetssäkring, och fabriksutformning. Just nu finns såväl nationellt som internationellt ett stort fokus på virtuell produktion, Industri 4.0, "smarta fabriker" m.m. Projekresultaten kommer här att bidra inom den snabba utvecklingen som pågår. Kunskap från projektet kommer att bidra till utvecklingen av internationella standarder som är relevanta för modelldrivnet arbetssätt inom artikeltillverkning.*

Not 3: *Någon kommersiell introduktion av projekresultaten har aldrig varit planerad. Projekresultaten är i sig "pusselbitar" i ett större sammanhang. I nuläget är effektiva applikationer för modelldriven process- och artikelberedning inte kommersiellt tillgängliga. Dagens systemmiljö kan bäst beskrivas som heterogen och fragmenterad där en mängd olika applikationer används för olika ändamål som exempelvis CAM system för framtagning av NC-kod, databas applikationer för PFMEA m.m. De resultat som tagits fram och demonstrerats inom MPQP kan beskrivas som exempel på moduler som skulle kunna finnas i ett datorsystem för modelldriven artikelberedning. Men den typ av artikelberedningssystem i vilket MPQP resultat skulle kunna implementeras i finns ännu inte på marknaden. Här finns ett gap att överbrygga genom fortsatt forskning och utveckling inom området. Utvecklingen av CAPP system för modelldriven artikelberedning och kvalitetssäkring som bygger på och utnyttjar möjligheterna med internationella standarder som ISO 10303 (STEP) skulle vara ett viktigt steg framåt – men att ta fram en sådan applikation och kommersialisera den är ett mycket stort projekt som skulle kräva resurser bortom vad ett projekt*

som MPQP medger. Det har därför inte formulerats någon uttalad strategi för kommersialisering av projektresultat inom ramen för MPQP. Dock ska det omnämnas att AGREE, en mjukvara för grafisk editering av Express-G, som använts i MPQP och viderutvecklats genom projektet finns tillgänglig för allmänheten som en OpenSource applikation, och har använts av andra aktörer med goda lovord.

Not 4: *Ingen kommersialisering är planerad – se not 3.*

Not 5: *Projektet och dess resultat är viktig input till det internationella standardiseringsarbetet där bl.a. mycket arbete just nu pågår inom området virtuell produktion.*

7.2 Publikationer

Vetenskapliga projektresultat har förmedlats genom följande publikationer:

System integration for kinematic data exchange, Li Y., Hedlind M., Kjellberg T., Sivard G., in International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Special Issue: Digital Enterprise Technology, Vol. 28, Issue 1, pp. 87 - 97, 2014

A testpart for interdisciplinary analyses in micro production engineering, Möhring H.-C., Kersting P., Carmignato S., Yagüe-Fabra J.A., Maestro M., Jiménez R., Ferraris E., Tunc L.T., Bleicher F., Wits W.W., Walczak K., Hedlind M., Proceedings of the 3rd CIRP Global Web Conference on Production Engineering Research: Advancement beyond state of the art. June 3 - 5, 2014, ISSN: 2212-8271

Model-driven Process Planning and Quality Assurance, Lundgren M., Hedlind M., Kjellberg T., Proceedings of the 9th CIRP Conference on Intelligent computation in manufacturing engineering: Innovative and Cognitive Production Technology and Systems. July 23 – 25, 2014, Capri (Naples), Italy.

Representation and exchange of digital catalogues of cutting tools, Li Y., Huang Q., Hedlind M., Sivard G., Lundgren M., Kjellberg T., Proceedings of the ASME 2014 International Manufacturing Science and Engineering Conference, June 9 - 13, 2014, Detroit, Michigan, USA

Kinematical product specifications in engineering design, Hedlind M., Kjellberg T., in CIRP Annals, Vol. 63, Issue 1., Pp. 197 – 200, 2014

Process chain based workpiece variation simulation for performance utilization analysis, Bagge M., Hedlind M., Lindberg B., Proceedings of the 6th Swedish Production Symposium, September 16 - 18, 2014, Gothenburg.

Geometric Distortion Analysis Using CAD/CAM Based Manufacturing Simulation, Werke M., Hedlind M., Nicolescu M., Proceedings of the 6th Swedish Production Symposium, September 16 - 18, 2014, Gothenburg.

Process Planning Methodology Guide for Interactive Learning, Lundgren M., Hedlind M., Kjellberg T., Proceedings of the 6th Swedish Production Symposium, September 16 - 18, 2014, Gothenburg.

Design specifications with engineering terminology in a geometric context for CAD/CAM, Hedlind M., Kjellberg T. in CIRP Annals Manufacturing Technology, Vol. 64, Issue 1., pp. 169-172, 2015)

Creating an Efficient Geometrical Measurement Planning Process, Lindqvist R., Jansson T. in SAE International Journal of Materials and Manufacturing, 2015

Connecting rod's manufacturing improvements and process planning Tolerance chain analysis and training material, Gonzalez S. G., MSc. Thesis, KTH Royal Institute of Technology, 2015

MPQP - Technical presentation, Hedlind M., ISO TC184/SC4 meeting, October 19-22, 2015, Baltimore, USA.

Tolerance chain analysis with CETOL, M.Sc. student project at Scania, KTH Royal Institute of Technology, 2016

Tolerance chain analysis for Corodrill, M.Sc. Student project at Sandvik in Gimo, KTH Royal Institute of Technology, 2016

Model Driven Manufacturing Process Design and Managing Quality, Lundgren M., Hedlind M., Kjellberg T., Proceedings of the 26th CIRP Design Conference, June 15-17, 2016, Stockholm

Model-driven Quality Assurance, Li Z., L. Zeyu, MSc. Thesis, KTH Royal Institute of Technology, 2017

MPQP - Technical presentation, Hedlind M., ISO TC184/SC4 meeting, October 5, 2016, Mukilteo, Washington, USA.

Work methodology and identification of uncertainties in quality assurance - A case study of internal component manufacturing in the automotive industry, Michelsson R., Wennberg M., MSc. Thesis, KTH Royal Institute of Technology, 2017

Architecting Model Driven System Integration in Production Engineering, Li Y., PhD. Thesis, KTH Royal Institute of Technology, 2017

7.3 Utbildning

Forskningsresultat från projektet har bidragit till att utveckla kurserna MG2130 – Modeling and Simulation of Industrial Processes, och MG2036 – Computer Aided Manufacturing. Varje år är det omkring 80 studenter som läser kursen MG2130 och omkring 25 studenter som läser MG2036 som fördjupning – se bilaga 1 och 2 för engelsk posterpresentation av respektive kurs. Projektets resultat bidrar till att akademien kan leverera ingenjörer med sådan kompetens som den svenska fordons- och tillverkningsindustrin efterfrågar.

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Modelldriven artikelberedning och kvalitetssäkring har stor potential att bidra till en signifikant produktivitetsökning inom artikelberedning och kvalitetssäkring. Genom de demonstrationer som presenterats har projektet visat att digitala modeller kan bära information som skapats i artikelberedning för vidare användning i kvalitetssäkring och tillverkning. Demonstrationerna har också visat att nya och radikalt förbättrade arbetsmetoder kan realiseras genom användande av koherenta digitala modeller vilket kommer att möjliggöra integrerad artikelberedning och kvalitetssäkring. Genom modelldrivet arbetssätt i beredning och kvalitetssäkring kan fragmenterad information i olika dokument ersättas med digitala modeller där artikelberednings- och kvalitetssäkringsrelaterad information representeras på ett gemensamt och sammanhängande sätt. När behovet att särskilt upprätta och underhålla kvalitetstyrande dokument minskar och mängden fragmenterad och duplicerad information signifikant reduceras frigörs värdefulla ingenjörstimmar till innovation och processförbättrande arbete i produktionen. Ett viktigt bidrag av projektet kvalitetssäkring är också det nyskapande synsättet att den digitala modell en väl genomförd artikelberedningsprocess resulterar i samtidigt är en produkt av viktiga kvalitetsstyrande avväganden, vilka kan representeras i en digital modell till att kommunicera beredarens avsikt med tillverkningsprocessen och dess utformning (process design intent). Projektet har bidragit till att upprätthålla och vidareutveckla den etablerade och internationellt erkända forskningsposition KTH har inom modelldriven tillverkning. De projektresultat som presenterats har alla stor potential att vidareutvecklas genom fortsatt forskning och bidra till: att främja innovativt tänkande inom artikelberedning och kvalitetssäkring, utveckling av CAx system för modelldrivet arbetssätt, samt fortsatt utveckling av internationella standarder som ISO 10303.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

KTH – Industriell produktion har varit forskningsutförare i samarbete med Scania CV AB, Volvo Cars AB, Saab AB, Sandvik Coromant, Amtek och Leax. Företagens medverkan har haft stor betydelse likaså har den öppenhjärtliga miljön i projektet där deltagarna har delat med sig av sina erfarenheter varit mycket stimulerade. Projektet vill också tacka VINNOVA för det finansiella stöd som möjliggjort projektet.

KTH – Industriell produktion: Magnus Lundgren, brix@kth.se

Scania CV AB: Mikael Hedlind, mikael.hedlind@scania.com

Sandvik Coromant: Peter Matsén, peter.matsen@sandvik.com

SAAB AB: Mikael Nilsson, mikael.y.nilsson@saabgroup.com

Volvo Cars AB, Helen Valldén, helen.vallden@volvocars.com

Amtek: Tomas Hallin, tomas.hallin@amtek.se

Leax: Richard Isaksson, rickard.isaksson@leax.com



Bilaga 1

MG2130 Modeling and simulation of industrial processes

Course objectives:

After passing the course, student will be able to:

- explain factory planning, process planning and flow planning, and relationships between these three domains
- explain basic activity steps within these three domains
- use specific software:
 - to develop factory layouts with buildings, manufacturing/assembly systems and factory assets
 - for Computer Aided Manufacturing (CAM) to develop and simulate manufacturing processes/operations
 - for event-driven flow simulation to develop a balanced manufacturing flow within a factory
- apply above described knowledge to develop a virtual factory for a given product, including process plan, flow simulation, and factory layout model.

Course content

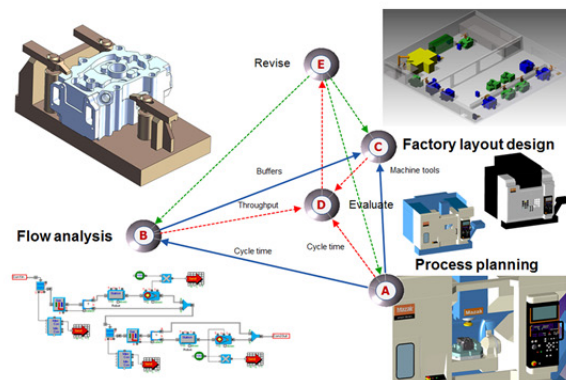
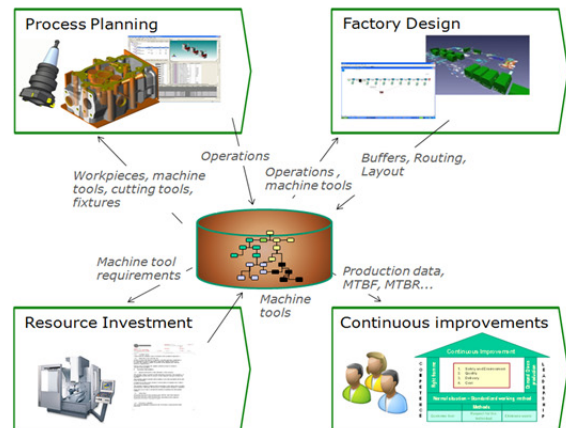
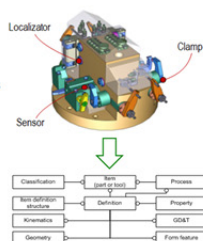
The course covers three main areas in factory development; process planning, flow simulation and factory layout design. Through a number of compulsory exercises students are introduced to process planning, flow simulation and factory layout design. Students who aim for a higher grade then have the possibility to gain deeper knowledge in above areas through voluntary assignments. Gained knowledge and modeling skills are finally applied in a project where students work in group with developing a virtual factory for a given product. The project includes development of a process plan, evaluation of the flow and identification of possible bottlenecks, development of a feasible factory layout, etc. The presented factory must be a solution with a balanced material flow where all required resources fit into a given floor space. All manufacturing operations must have been verified securing that no collisions occurs during machining. The rational behind the presented manufacturing solution, its strengths and weaknesses etc. must also be presented.

Models are the foundation for simulation:

- A model is a **representation** of the "world" you want to study
- Models of **processes, events** and sequences of events you want to study in your "model world" are developed and related to it.
- Simulation means to run through the model of the courses of events you want to study.

The value of a model is determined by:

- Its ability to provide **accurate answers** to the questions we want to be answered, and its ability to make **accurate predictions**



Student testimonies

In my opinion this course fits very good in our study program.

I liked the project at the end. It showed very good, how the different disciplines interact with each other and what effects small decisions in one part lead to changes in another part which are bigger than expected. I think this understanding of interactions is difficult to grasp in everyday working life and therefore good to teach students.

I really liked the structure of this course. First we had the lectures and then related labs in order to obtain a better understanding. It is a really good feature of the course that it had voluntary assignments. It provided the choice to the student how deep knowledge be wanted to obtain. Though it was recommended and with a good reason to do them as it was both a good preparation for the exam, as well as to get deeper and practical knowledge with the various software. The voluntary assignments where challenging but enjoyable as well.

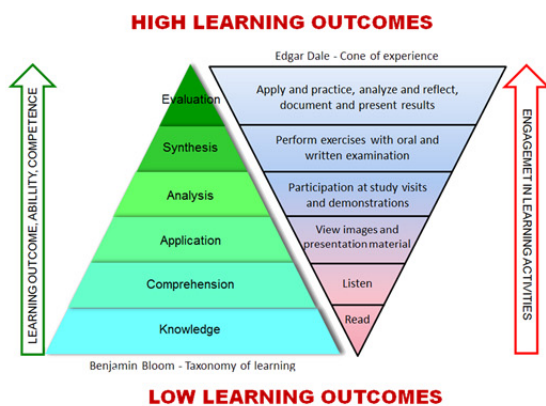
Bilaga 2

MG2036 Computer Aided Manufacturing

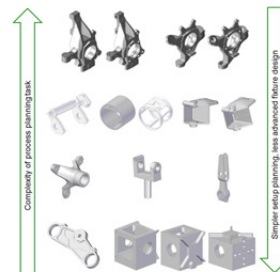
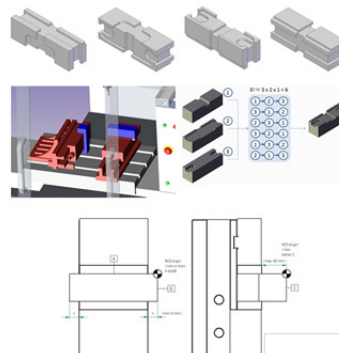
Course objectives:

After completed course, student will be able to:

- explain what process planning is about and how that activity can be supported by software's for Computer Aided Manufacturing (CAM)
- explain the theory of process planning and demonstrate practical skills in using a CAM system.
- show basic proficiency in using CAM software and apply above mentioned skills to create a process plan and generate NC programs for a given product .



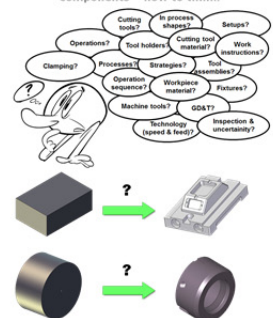
Compulsory task – NC machining



Course content

The course includes a number of compulsory exercises spanning from basic training, company visit, practical application and application of knowledge in process planning of a selected component. Students who aim for a higher grade have the possibility to do voluntary assignments, such as writing a company visit report, paper review, etc.

Basic skill exercises: Prismatic, and cylindrical components – how to think!



Compulsory task – Company visit



Optional task – Paper Reading



Student testimonies

An aspect of the course that I thought was a valuable and unique, but challenging experience was the NC-machining section of task 3, specifically having to machine a component based on another group's instructions. This brought about complications that I never even thought of. If we had machined our own parts, I feel like there would barely have been any challenge. However, having to machine something based on someone else's process plan really brought out the importance of clear and unambiguous process documentation. Furthermore, reading the reviews of our own process plan helped pinpoint exactly what we could have done better, such as providing more accurate and precise instructions in some areas, and less precise instructions in other areas where not needed.

I'm very happy that I got the opportunity to take this course. It is indeed like no other course I have taken, and yet the knowledge I came out with after taking the course noticeably more than the courses I have previously taken. I feel as though what I have learnt can be immediately applicable, and yet I also know there is so much more to learn in this field. The course was engaging and required a large amount of individual work, however I often discussed concepts with colleagues and teachers, and the inclusion of hand-on workshops and collaborative work for task 3 created a fantastic learning environment.