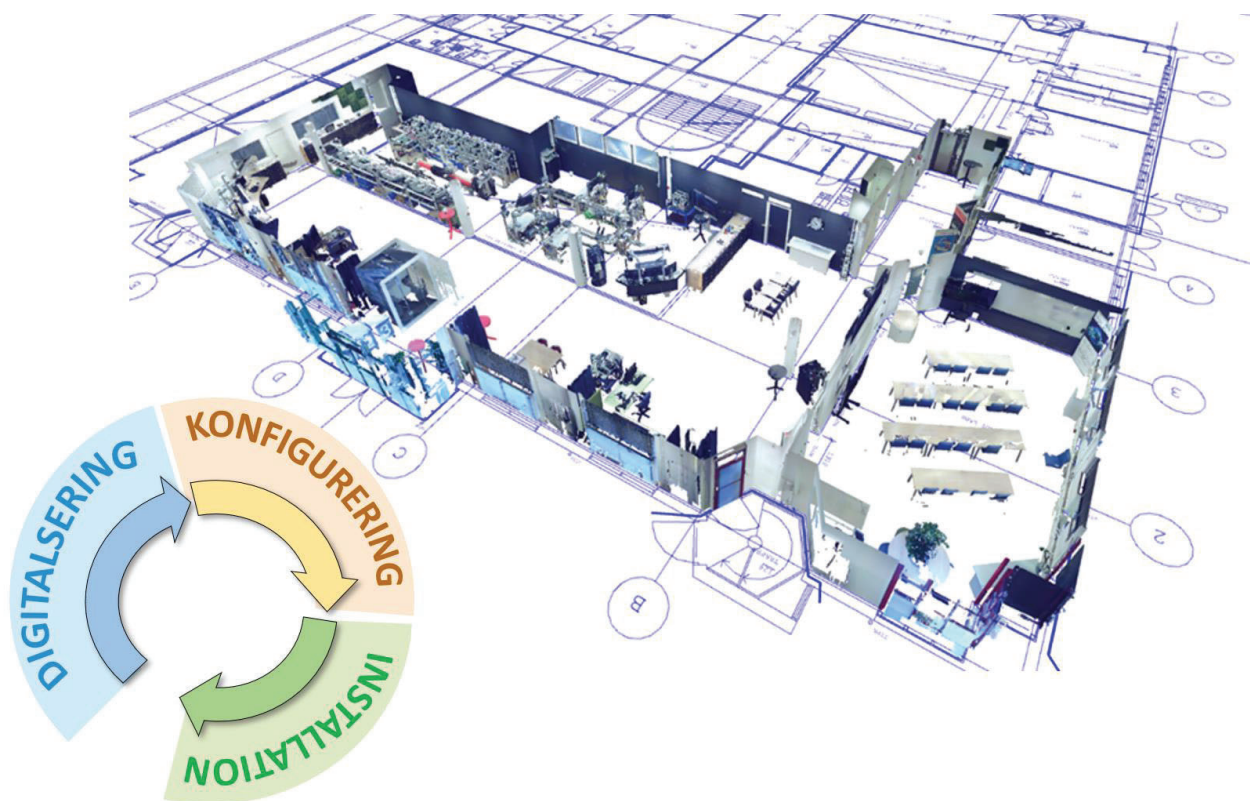


Digital tvilling för utveckling och installation av produktionssystem

DIP

Publik rapport



Författare: Per Gullander, Fredrik Wandebäck, Fredrik Martinsson,
Jonatan Berglund, Daniel Näfors, Jonatan Berglund,
Per-Johan Wahlborg, Rolf Berlin

Datum: 2021-12-31
Projekt inom FFI Hållbar Produktion

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary in English.....	5
2.1 Guidelines	8
2.2 Conclusion.....	10
3 Bakgrund.....	11
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	12
5 Mål	13
6 Resultat och måluppfyllelse	14
6.1 Resultat	14
6.2 Måluppfyllelse.....	26
7 Spridning och publicering	27
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	27
7.2 Publikationer.....	27
8 Slutsatser och fortsatt forskning	29
9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....	30

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

Svensk industri investerar årligen cirka 40-60 miljarder kr i maskiner för att förbättra sin tillverkningsförmåga, och ytterligare 5-10 miljarder kr i anläggningar. Maskiner och utrustning byts ut och anläggningar utökas för att klara av förändringar i efterfrågan och produkter. För att minimera kostnaderna och tidsåtgång för dessa investeringar utnyttjas befintliga anläggningar så långt det är möjligt. Det finns därför ett stort industriellt behov av att effektivt kunna designa nya systemlösningar som både passar och fungerar som en integrerad lösning i befintliga produktionsanläggningar. Tyvärr saknas i för detta arbete ofta nödvändiga digitala modeller som detaljerat och exakt beskriver hela produktionssystemet inkluderat även befintlig utrustning, lokaler, mm. För att förverkliga detta saknar branschen data, modeller och metodik.

Den senaste tekniken visar att det går att stödja arbetet med produktionsförändringar genom att använda tekniska verktyg där 3D-skannade punktmolnsmodeller skapar en digital tvilling av produktionssystemet. Detta kan stödja hela arbetsgången från den tidiga planeringsfasen med datainsamling, mätningar och anläggningar, via utvecklingsfas där t ex design och simulering av system kan stödjas, till fasen av installationen av systemet. DIP-projektet har syftat till att möta detta genom att utveckla och demonstrera digitala arbetssätt för 3D-skanning av produktionsanläggningar, samt hantering och användning av det resulterande punktmolnet.

Projektets mål var en metodik för en stabil, pålitlig och verifierad process att arbeta med digitala tvillingar för att stödja automations- och installationsarbete, speciellt anpassat för små och medelstora företag. Fokus har legat på att lyckas med att installera och implementera ett automationssystem som är en geometriskt korrekt kopia av den praktiskt taget verifierade modellen inklusive dess verkliga miljö. Dessutom var målet lösningar som även kan stödja spridning av den digitala tvillingen till en bredare användning. Projektet har betonat tre saker:

- Hur arbetar man med punktmolndata som stöd i layoutdesignen och den digitala modellen av den relevanta delen av produktionssystemet?
- Hur kan man effektivt stänga loopen med den fysiska konstruktionen, installationen och valideringen?
- Vad är behovet av anpassning av tekniken ur ett SME-perspektiv så att automationsföretag, installationsföretag och tillverkande företag kan arbeta mer effektivt?

Kunskapsmässigt har detta projekt samlat ledande aktörer inom 3D-skanning, simulering, automationsutveckling och installation tillsammans med tillverkande företag: RISE IVF, Chalmers, ATS, Parker Hannifin Manufacturing, Plasman, KB Components, Blomdahls, Plamex, 3Button Group, Volvo Cars, Siemens Industrial Software, Ideal Grp och GIAB. Projektet genomfördes under drygt tre år och avslutades i december 2021. Vinnova finansierade arbetet tillsammans med deltagande företagsparter.

Arbetet i projektet har kretsat kring verkliga företagsfall där forskningsparterna har arbetat tillsammans för att stötta projektpartnerna att genomföra verkliga installations- och förändringsprojekt. Samtidigt har erfarenheter, utmaningar och idéer fångats upp från de olika fallen, vilket gjort det möjligt att successivt förfina och utveckla metodiken och paketera resultat för en bredare spridning. Dessa fall har legat till grund för det tekniska arbetet och har sedan använts för att utveckla och förfina tekniska stödsystem och metoder inom huvudområdena som speglar produktionssystemets livscyklifaser: i digitalisering av miljön, i konfiguration/modellering och installation och validering. Projektet har genomfört ett flertal workshoppar, fallstudier på alla företag, fem examensarbeten, en licentiat- och en doktorsavhandling och 17 genomförda 3D-skanningar.

Projektet har utvecklat en DIP-metodik som inkluderar guider för rekommenderat arbetssätt med produktionssystem över livscykeln. Ett dokument har tagits fram som beskriver dels övergripande arbetssätt och specifika metoder för digitalisering, konfiguration och installation. Dessutom består metodiken av tekniskt stöd. En app FieldAid stödjer det praktiska arbetet vid digitaliseringen, dvs 3D-skanningen, för att öka effektivitet och kvalitet. Ytterligare en väsentlig del av metodiken är ett webbhotell etablerats som lagrar resulterande punktmoln och genom enkelt gränssnitt som ger företagen tillgång till sina digitala tvillingar.

Metodiken är avsedd att kunna användas av små- och medelstora företag, som har mindre ekonomiska, kompetensmässiga och personella resurser än de större bolagen. Projektets parter har testat och utvärderat teknik och metod och både automationsleverantörerna och de tillverkande företagen har varit starkt engagerade och ser stor potential i ökad användning. Som ett resultat från projektet ses behov dels att genom ökad nationell spridning och användning kunna fortsätta utvärdera och förbättra metodiken, dels att vidareutveckla webbhotellslösningen och dess relaterade affärsmodell.

En förväntad effekt är att utnyttjandet av 3D-skannade modeller i automationsarbetet kommer att öka, vilket ökar svensk tillverkningsindustris kostnadseffektivitet, konkurrenskraft, förmåga att använda digitala tekniker samt både effektivitet och kvalitet i installation av förändringar i produktionssystem. Projektet har arbetat för forskningsprogrammets övergripande mål att uppnå högre produktivitet i produktionsberedningen och i produktionsprocesserna. För de mer produktrelaterade målen för programmet förbättrar projektet tillverkningsprocesserna och ger ökad flexibilitet, men utvecklar även virtuella verktyg för simulering och optimering av processerna med ökad produktivitet i beredningsprocessen.

2 Executive summary in English

Swedish industry annually invests around 40 – 60 billion SEK in machinery to improve their manufacturing capabilities, and another 5- 10 billion in facilities. Machinery and equipment are being replaced and facilities are expanded to cope with changes in demand, introduction of new products, or changes in the design of existing products. To minimize costs and increase the speed of these investments, existing facilities are being utilized as far as possible. Hence, there is a large industrial need to be able to efficiently design new system solutions that both fit and work as an integrated solution in existing environments, i.e., in existing production facilities. While manufacturing companies today often work with modern digital models of products and key processes, such as CAD-models for product design, visualization, and analysis, the situation is not the same for the production system. Work with the production system often means a lack of detailed and exact digital models that can support the engineering work, and the workload to manually model and digitalize the shop floor is far too great. A digital model of the entire production system is very important, but for the realization of this, the industry is missing data, models, and a methodology.

State-of-the-Art technology shows that it is possible to support the work with improvements in the production system by utilizing technological tools. From the early planning phase technology can support with data collection, measurements, and facilities, through development phase where e.g. design and simulation of systems can be supported, to the phase of installation of the system. There are methods available to support re-engineering where 3D-scanned point cloud models provide an important contribution to the creation of a digital twin of the production system.

The purpose of the project has been to develop and demonstrate digital working methods for 3D-scanning of production facilities, and the handling and use of the resulting point cloud, the digital twin. This gives companies working methods and digital models that support their change work and production development. The project has aimed at a methodology for a stable, reliable, and verified process of working with digital twins to support automation and installation work, specifically adapted for small and medium-sized companies. The focus has been on the succeeding in the installing and implementing an automation system that is a geometrical accurate copy of the virtually verified model including its true environment. The work combines techniques for handling models and new technologies for 3D-scanned data to create a digital twin that can also be used not only for engineering work but also for dissemination and make the experience available for a wider use.

The project has emphasized three things:

- How to work with point cloud data as support in the layout design and the digital model of the relevant part of the production system?
- How to effectively close the loop with the physical construction, installation, and validation?
- What is the need of adaptation of the technology from an SME perspective so that automation companies, installation companies, and manufacturing companies can work more efficiently?

In terms of knowledge, this project has brought together leading players in 3D scanning, simulation, automation development, and installation together with manufacturing companies. The work in the project has revolved around real company cases where the research partners have worked together to support the project partners to implement their installation and change projects. At the same time, experiences, challenges, and ideas have been captured from the various cases, which have made it possible to gradually refine and develop the methodology and package results for a wider distribution. The cases are summarized in **Fel! Hittar inte referenskälla..**

In this way, the business partners have had the chance to test and learn the details while interacting with their experience of how new technology and methods can be used in their

industrial applications and the development / installation of automation solutions. These cases have formed a basis for the technical work and have since been used to develop and refine technical support systems and methodologies in the main areas that reflect the life cycle phase of the production system; in digitalization of the environment, in configuration/modelling of the digital twin, and in installation and validation.

The project has developed a generic set of guidelines, showing new opportunities in State-of-the-Art technology. As an effect, the utilization of 3D scanned models in automation work will increase, thus increasing Swedish manufacturing industry's cost efficiency, competitiveness, utilization of automation, ability using digital technologies, and both efficiency and quality of the installation of changes to production systems.

Tabell 1. A summary of the cases performed in this research project – both which partner hosted the case and a short description of the case. All cases involved development/utilization/refinement of the DIP methodology

Case host	Case description
RISE IVF	Scanning of the western part of the workshop/lab.
	Visualization and creation of digital twin for Hybrid Joining cell.
	Utilization of digital twin for safe and effective move of a press machine.
	Installation of pilot production line MANUELA for additive manufacturing, visualization, and utilization in the hybrid joining cell's programming.
Chalmers SII-lab	Scanning of the entire lab to learn the method, techniques, and to visualize the lab.
KB Components	Evaluation and planning for remodeling of production including 3D-scanning, flow simulation, and layout proposals aided by thesis workers.
	Design and installation of new manufacturing cell.
Parker Hannifin:	3D Scanning to support investment evaluations in the production facilities.
	Specific study of a robot cell.
	Design and installation of grinding machine.
Plasman	Scanning of facilities in Gothenburg, remodeling, and installation of new equipment.
	Parts of production in Gent, Belgium was 3D scanned prior to remodeling in two sessions (2020 and 2021).
Blomdahls Mekaniska AB	3D scanning for layout planning and investment in new machinery supported by thesis work.
Plamex	Utilization of the DIP methodology to design installation of cell at KB Components.
	Development and installation at Preciform.
3Button Group:	Scanning of 3Button groups lab facilities.
	Development, verification, and installation of automation systems at Emballator Växjöplast.
	3D Scanning for a venture with Modulpac.

The project has worked for the overall goal of the research program to achieve higher productivity in the production preparation and in the production processes. The goal is a smooth and stable process prepared for the introduction of new automation solutions in production supported by virtual models and a system for installation. For the more product-related goals for the program in the years 2015 - 2020, the project improves the manufacturing processes and provides increased flexibility, but also develops virtual tools for simulation and optimization of the processes with increased productivity in the preparation process.

2.1 Guidelines

To support SMEs in achieving more effective design, development, and installation of production systems the project developed a set of guidelines. These guidelines support companies in establishing a method of working where a digital twin of the production system support across the production systems life cycle. The guidelines document contains an overall description of a way of working that uses 3D scanned digital twins of production facilities to design and install changes to production more effectively. It gives motive for why a new way of working is beneficial, and an overall description of the way of working. It also describes the way of working in more detail in three main phases of working with the production system digital twin: digitalization, configuration, and installation. These three parts form a coherent process that together lead to the creation and management of operatively useful digital twins for the development of production systems.

Digitalization

The creation of a factory digital twin consists of establishing and measuring a factory coordinate system followed by 3D scanning of the current state of the factory. Establishing and measuring the factory coordinate system is only made once, while 3D scanning can be repeated, when necessary, as the facilities change over time. A factory coordinate system can, once established, be used for all position measurement of equipment and construction elements. It replaces previous analog methods which rely on known building elements on drawings, such as pillars, and relies on its accuracy. With a factory digital twin there is measurement data that within a few millimeters are accurate and give a true representation of both the facility and existing equipment. By using this model instead, the risk for position errors in the drawings does not lead to following errors in the modelling work or make the installation of equipment more difficult.

Within the project, the app Fieldaid has been further developed. Fieldaid is an app that supports the work in a digitalization project from the planning stage via the scanning operator in the field and through the processing of collected data. The app digitalizes large parts of the planning work and the operative documentation that is made in the field. In the planning phase, the app is used to manage factory drawings and define the areas to be digitalized. During the operative phase, both scan positions and the positions of reference objects are documented while also ensuring that proper methods of digitalization is being followed. As a digitalization tool Fieldaid replaces previous solutions with scattered documents for planning and analog paper drawings with notes made in the field. A summary of the features realized digitally in the app is listed below:

- Project scope
- Scanner settings
- Definition of scan areas
- Position of reference objects
- Scan positions
- Project information
- Layout map
- Synchronization of multiple operators
- Live status for project leaders
- Upload of scan files

Configuration

Input to the configuration phase is a point cloud of the facility. A point cloud is made up of a large collection of data consisting of coordinates in space and RGB-color information for each coordinate and comes without an interpretation of what is represented within the data. The research team has manually made this interpretation in the point cloud data to allow the involved companies to utilize the data in the industrial changes. These interpretations were made tailored to needs, as things that should not be changed can remain untouched in a larger point cloud

dataset while individual details that should be changes, moved, or removed was segmented down to individual pieces as exemplified in Figure 1. This segmentation is the first step of the configuration phase.

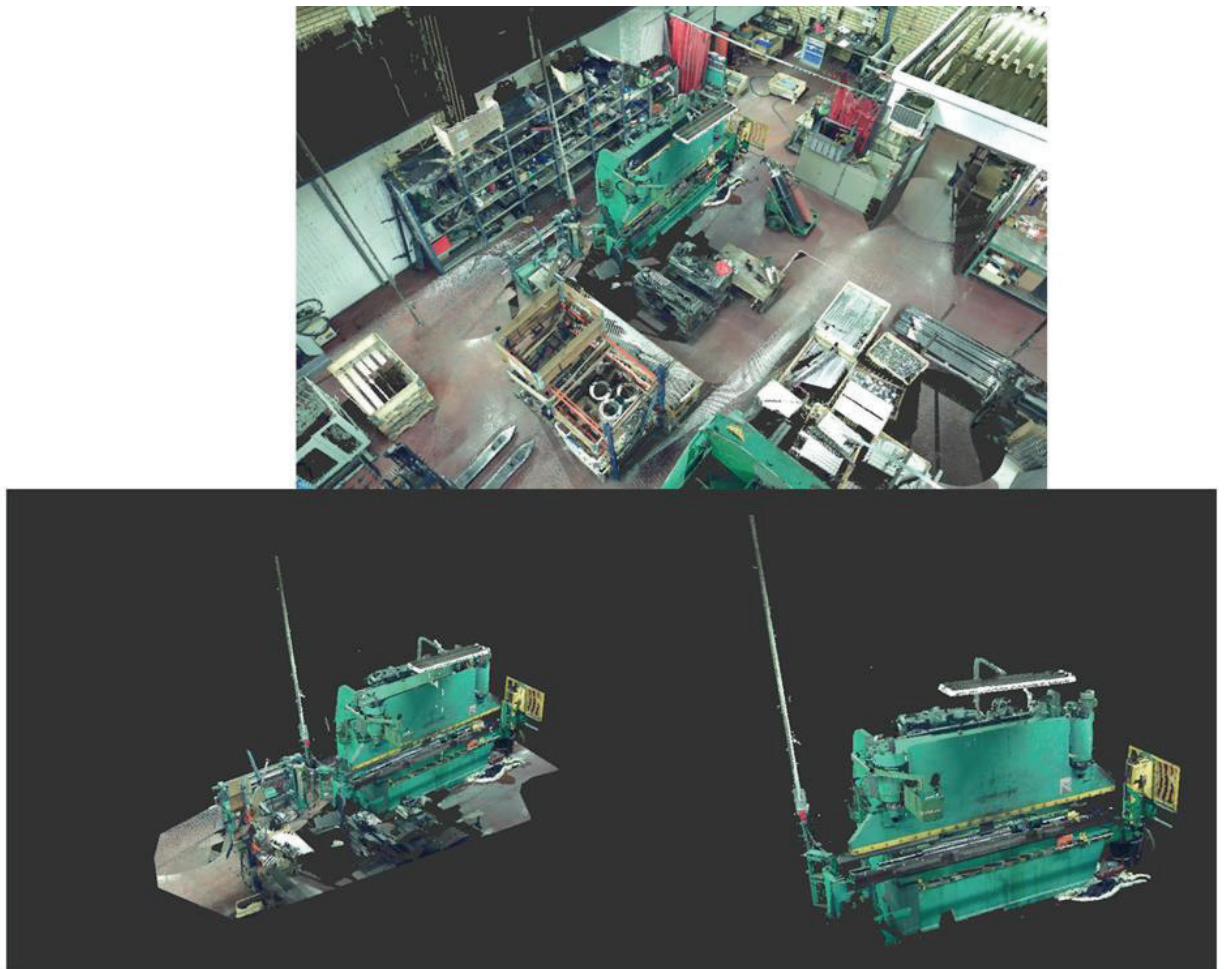


Figure 1: Complete point cloud (top) segmented down by removing piece by piece (left) until only the required data remains, in this case an individual machine (right).

A fundamental concept of the methodology is that the point cloud is forming the digital twin of the legacy equipment and as-is / current facility, since this is not possible to model using CAD. New equipment is modelled in CAD and merged into a hybrid CAD point cloud digital twin of the to-be system.

Following the segmentation of point cloud data, the research group combined the various parts of the point cloud with 3D CAD models of new equipment in a realistic model of the future state after the change to allow the involved companies to evaluate and develop their industrial changes by further improving them or ensuring their feasibility, for example by detailed and realistic simulation models. These realistic models were also on multiple occasions utilized in immersive virtual reality, which allows a user to experience the model immersed in full scale. The utilization of this tool gave more stakeholders the possibility to evaluate and give valuable input to the coming industrial change in an early stage, far earlier than without this tool as this type of input most often comes after the change has been installed.

Installation

The installation part of this work has been based on the digital twin as described in CAD environment together with the scanned point cloud of the workshop or factory where the equipment is to be positioned. Different aspects of using CAD models to create prerequisites for the positioning of equipment has been illustrated, along with how the digital twin can be used to plan the incoming transport and relocation of equipment. For this task, the research group has also applied the software IPS which has functionality for a collision-free path planning to show how a large sheet metal press can be transported through a narrow workshop. In addition the point cloud has been used in several of the cases to control the possibility to transport equipment before physically performing the transportation and installation of the equipment.

Different measurement systems for positioning based on the reference point that were positioned in connection with the scanning of the facilities. The results show that a high precision in installation is achievable if these reference points are consistently utilized along with the established factory coordinate system. A challenge has been to convince personnel that are used to working with manual methods that the proposed methodology is both more efficient and precise.

These differences become most clear in crowded facilities or where there is a dependency between equipment that are not directly connected but require certain precision. Since there is a point cloud with high precision, there is no reason not to use this and the measured reference points which guarantee high accuracy. The recommendation is to really make use of these to achieve best possible precision and guarantee that the digital twin can be used by many different users in the continued work and ensuing improvements or changes. The point cloud can be used in preparations of several parts of the installation work as well as for transporting of equipment, installation of media such as electricity, pneumatics, water, sewage, ventilation, material, and for control of the shop floor flatness which often are not fully flat.

2.2 Conclusion

For the overall goal of the project, which was to develop methods for small and medium-sized companies to use 3D scanned digital twins of production facilities in their work to develop and install production solutions, the goal fulfillment is good despite the impact of an ongoing pandemic which of course made work difficult. The purpose was to build on the technological solutions that Volvo Cars had established around using a 3D scanned based way of working which showed to work very well also for SMEs, although there still were some aggravating aspects along with a not fully mature and established technology in the software range that smaller companies, specifically in their capacity to handle point cloud-based models.

Meanwhile it should be stated that for layout-related work the establishment of a 3D based way of working is still under way also in the larger companies, so further efforts are needed also in this area to make it a generally established technology in this area. Further development of technology and methodology is required also to reach even further in the possibility to virtually verify the production solution fully with the included equipment, to handle applicators on robots in their software and connection to signal management and so on, in order to have a more mature digital twin.

When it comes to the expected effect of the point cloud-based methods the project shows from all the cases that there is plenty of time and money to be saved in performing virtual verification of equipment installation faster, with increased quality and fewer mistakes, which in turn affects ramp-up times and the anchoring from relevant stakeholders.

The benefits shown by the project motivates a broad effort in getting the technology and way of working out to Swedish companies, as the research group with their experience of similar

conversions can predict a large need of running a technology dissemination and conversion project consisting of the following:

- Dissemination of information, training, coaching.
- Practical change management and establishment of way of working. Sweden needs to get more companies working in the proposed way which in turn can act as ambassadors for further spread.
- Analysis of what the key is to change the way of working in order to get these companies to give generic advice to other companies.
- Successively increased maturity, quality, and stability of both technology and methodology.
- Successively increased knowledge, spread, and utilization within Swedish SMEs.

3 Bakgrund

Den svenska industrin investerar årligen 40 - 60 miljarder kronor i maskiner för att utveckla sin tillverkningsförmåga och ytterligare 5 - 10 miljarder kronor i anläggningar och byggnader. Maskiner och utrustning byts ut och anläggningar expanderas för att klara av förändringar i efterfrågan, nya produktintroduktioner eller designändringar av befintliga produkter. För att minska kostnader och öka snabbheten används befintliga anläggningar och utrymme så långt som möjligt. Det finns därför ett stort industriellt behov av att effektivt kunna utforma nya systemlösningar som passar och fungerar integrerat i befintliga miljöer.

Automatiseringslösningar har ofta stora krav att exakt passa för att kunna samverka bra med omgivande utrustning och miljö. Detta är ett problem som gäller vid nya s k green-field installationer, men är speciellt utmanande för installationer i anslutning till befintlig utrustning, s k brown-field. Stora arbetsinsatser krävs idag av system- och linjebyggare för att tillhandahålla nödvändig dokumentation för att korrekt modellera automatiseringsutrustning integrerat i en framtida produktionsmiljö.

Det finns ett stort behov av att minska kostnaderna och förkorta tiden som spenderas i detta arbete. Fel vid utformning av automatiseringslösningar, till exempel utrustning som inte ryms i utrymmet, robotar som kolliderar med annan utrustning eller kringliggande byggnad, installationer där utrustningen positionerats fel etc. kostar mycket resurser att korrigera, både i form av arbetstid och bortfall av produktion.

Många av automations- och tillverkningsbolagen i Sverige är SMF och utgör en viktig bas för den svenska industrin, samtidigt som de inte har samma resurser och kompetenser som storföretagen att utveckla nya arbetssätt. Tillverkande företag arbetar idag ofta med digitala modeller av produkter och några viktiga processer. CAD-modeller används i produktdesign, visualisering, analys, produktionsplanering etc.

Det samma gäller dock inte för produktionssystemet – här saknas detaljerade och exakta digitala modeller som skulle kunna stödja ingenjörsarbetet. Det finns ofta 3D-modeller för maskiner, utrustning, produkter m.m., men arbetsinsatsen är alltför stor för att modellera andra aspekter som väggar, staket, ventilation, styrschåp, bord etc. En digital modell av hela produktionen är mycket viktig, men här saknas i industrin både data, modeller och arbetssätt.

State-of-Art-tekniken visar dock att ett annat arbetsflöde och scenario är möjligt. Teknologiska lösningar är tillgängliga för att stödja verkstadsarbetet med automatiseringslösningar, från planeringsfas (datainsamling, mätning och modellering av anläggningar), genom utveckling (design och simulering av system), till installation av automationssystem. Metoder finns för att stödja konstruktion/reengineering där 3D-skannade punktmolnsmodeller ger ett viktigt bidrag till

att skapa en digital tvilling av produktionssystemet^{1 2 3}. Denna tvilling är då en sann virtuell modell av hela produktionssystemet och kan användas som referens vid installation och kalibrering av linjen/cellen. Till exempel har Volvo Cars visat på potentialen för ett sådan arbetssätt med kostnadseffektivisering och minskning av ledtider vid driftsättande av produktionssystem.

Definitionen av digital tvilling enligt NASA är *“A Digital Twin is an integrated multiphysics, multiscale, probabilistic simulation of an as-built vehicle or system that uses the best available physical models, sensor updates, fleet history, etc., to mirror the life of its corresponding flying twin”*^{4 5}. Överfört till produktion är tvillingen en digital representation av ett produktionssystem, där ingående resurser och produkter modelleras för att analysera och prediktera systemets beteende, över hela livscykeln. I vissa sammanhang menas med digital tvilling en spegling av produktionens och utrustningas drift och status. I detta projekt och arbetssätt menas med digital tvilling en *geometrisk exakt och korrekt digital modell av produktionsanläggningen*. Det är viktigt att svenska automationsföretag och tillverkare ges möjlighet att anamma och börja arbeta med tekniken och lösningar kring digital tvilling.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Projektets syfte har varit att utveckla och demonstrera digitala arbetsmetoder för 3D-skanning av produktionsanläggningar och hantering och nyttjande av resulterande punktmoln, den digitala tvillingen. Detta ger företag arbetsmetoder och digitala modeller som stödjer deras förändringsarbete och produktionsutveckling. Projektet har siktat på en metodik för en stabil, tillförlitlig och verifierad process att arbeta med digitala tvillingar i automatiserings- och installationsarbetet anpassat för små och medelstora företag. Fokus har varit på installation och implementering av ett automationssystem geometriskt exakt som en kopia av en virtuellt verifierad modell i dess sanna miljö.

Olika nivåer av digitalisering och kommunikationsaspekter har granskats och utvärderats. Arbetet kombinerar tekniker för hantering av modeller och nya tekniker för 3D-skannade data för att skapa en digital tvilling som också kan användas inte bara för ingenjörsarbetet utan också för spridning och göra erfarenheterna tillgängliga för en bredare användning.

Projektet har lagt stor vikt på:

- Hur man kan arbeta med punktmolnet som stöd i sin uppbyggnad av layout och den digitala modellen av cellen/lineavsnittet.
- Hur man effektivt sluter loopen med den fysiska uppbyggnaden, installation och validering.
- Hur ser behov av anpassning av tekniken ut ur ett SMF-perspektiv så att automationsföretag, installationsföretag och tillverkande kunder kan arbeta mer effektivt.

Kunskapsmässigt har detta projekt att samlat ledande aktörer inom 3D-skanning, simulering, automationsutveckling, och installation tillsammans med tillverkande företag. Arbetet i projektet har kretsat kring verkliga företagsfall där forskningsparterna har arbetat tillsammans med att stödja projektpartnerna för att genomföra sina installations- och förändringsprojekt. Samtidigt har erfarenheter, utmaningar och idéer fångats från de olika fallen, vilka gjort det möjligt att succesivt förfina och utveckla metodiken och paketera resultat för en bredare spridning.

¹ Lindskog, Erik, "A Framework for Systematic use of Realistic Visualisation to Support Layout Planning of Production Systems", Department of Industrial and Material Science, Chalmers University of Technology, Gothenburg 2018

² Hutabarat, Windo, et al. "Combining virtual reality enabled simulation with 3D scanning technologies towards smart manufacturing." *Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference*. IEEE Press, 2016

³ Plinta, Dariusz, and Martin Krajčovič. "Production system designing with the use of digital factory and augmented reality technologies." *Progress in Automation, Robotics and Measuring Techniques*. Springer, Cham, 2015. 187–196.

⁴ NASA in their integrated technology roadmap [Technology Area 11: Modeling, Simulation, Information Technology & Processing Roadmap; 2010]

⁵ E.H. Glaessgen, D.S. Stargel The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles, *Proceedings of the 53rd AIAA Structures, Structural Dynamics and Materials Conference 2012*, Paper no. 1818 (2012)

Företagspartnerna har på det sättet fått chansen att testa och lära sig detaljerna samtidigt som de interagerar med sin erfarenhet av hur ny teknik och metoder kan användas i deras industriella tillämpningar och utvecklandet/installation av automatiseringslösningar. Dessa fall har utgjort en grund för det tekniska arbetet och har sedan använts för att utveckla och förfinas tekniska stödsystem och metodik inom de huvudområdena som speglar livscykelns fasen för produktionssystemet:

- Digitalisering av miljö och förutsättningar,
- Konfigurerings/modellering av digital tvilling och
- Installation och justering av digital tvilling.

Projektet har arbetat integrerat med små och medelstora företag som representerar både automations-, programvaru- och tillverkningsföretag. Tack vare detta har de specifika aspekterna och situationen för små och medelstora företag kunnat beaktas.

En viktig del i arbetet har varit att bygga upp en strukturerad och skalbar miljö för distribuerad åtkomst och användning av data för de skannade anläggningarna för projektdeltagarna. Då detta kräver stora datamängder var avsikten att en sådan miljö skapas i samarbete mellan IVF och ATS men IVF:s integration i RISE under projektiden har gjort att det av praktiska skäl varit effektivast att denna miljö etablerats hos ATS som redan har lång erfarenhet av att erbjuda en sådan miljö för VCC. En mycket viktig aspekt här har varit att alla på ett företag ska ha enkel tillgång till den skannande miljön via webbtjänst utan några speciella mjukvarulösningar.

Arbetsättet har kontinuerligt utvärderats och utvecklats under projektet utifrån de olika rollernas perspektiv i leverantörskedjan (kundföretag, tillverkare, automationsbyggare, installatör). Projektet har utvecklat en generell metodik för SMF i form av guider för att mer effektivt och med hög kvalitet kunna utveckla, verifiera, installera och validera produktionslösningar. Denna erbjuder en anpassning av state-of-the-art-arbetsättet som finns etablerat hos vissa större företag, till SMF med olika roller i leverantörskedjan. Genom projektet har medverkande företag fått ökad kompetens kring teknik och metoder, och möjligheter att utvecklas tillsammans med andra företag och forskningsparter. Gemensamt lyfter projektet olika utmaningar som identifierats och sökt lösningar – dels forskningsmässiga, generella, dels mer kortsiktiga och tillämpade för egna företaget.

5 Mål

Syftet med projektet var att erbjuda svenska företag förutsättningarna för att i layout-, planerings-, installations- och valideringsarbetet kunna effektivt arbeta med stöd av en fullt fungerande digital tvilling för en automatiserad produktionscell. Projektets mål var att utveckla metoder för små och medelstora företag för att använda 3D-skannade digitala tvillingar av produktionsanläggningar i sitt arbete att skapa automatiseringslösningar som är effektivt och enkelt kan implementeras och valideras. Den förväntade effekten av dessa metoder är att installationer av utrustning efter virtuell verifikation kan genomföras snabbare, med ökad kvalitet och färre fel, vilket minskar kostnaderna kraftigt.

Genom att utveckla ett generellt arbetsätt, påvisa nya möjligheter i state of the art-teknik och genom att öka användningen av 3D-skannade modeller i automatiseringsarbetet kommer projektet att öka svensk tillverkningsindustris:

- kostnadseffektivitet och konkurrenskraft
- förmåga kring arbetsätt med digitala tekniker
- användning av automatisering
- effektivitet och kvalitet vid samverkan för installation av produktionslösningar.

Projektets målgrupp är en *leveranskedja* av automatiseringslösningar bestående ofta av små och medelstora lokalt representerade företag som är specialister inom olika områden inom *automationsområdet* och tillsammans med entreprenörer levererar en komplett lösning till ett *tillverkande företag*. Det är därför viktigt att utvecklad metod och arbetssätt är generell och kan användas av SMF eftersom resurser, behov och programvara skiljer sig åt.

Projektet har arbetat för de forskningsprogrammets övergripande mål att nå en högre produktivitet i tillverkningsberedningen och i produktionsprocesserna. Målet är en jämn och stabil process förberedd för introduktionen av nya automationslösningar i produktionen stödd av virtuella modeller och en systematik för installation.

För de mer produktrelaterade målen för programmet åren 2015 - 2020 tar projektet sikte på att förbättra tillverkningsprocesserna och ge en ökad flexibilitet, men också att utveckla virtuella verktyg för simulering och optimering av processerna med ökad produktivitet i beredningsprocessen. Ett delmål som också kopplar mot de övergripande FFI-målen är att stärka forskningssamarbetet mellan industrin, Chalmers och RISE IVF genom samverkande områdeskompetens.

Projektet syftar till att stärka forskningsmiljöerna och innovationsförmågan genom att utveckla värdefullt samarbetet inom området mellan högskola Chalmers och institut RISE IVF, i nära samarbete med teknikleverantörer och industriella användare. Svenska SMF kommer att stödjas och stärkas tack vare projektets fokus och metदानpassning gentemot SMF. Genom ett utvecklat arbetssätt kring digital tvilling i produktion kommer även samverkan mellan företag stärkas t ex mellan systemleverantörer installatörer och tillverkare.

6 Resultat och måluppfyllelse

6.1 Resultat

Metod

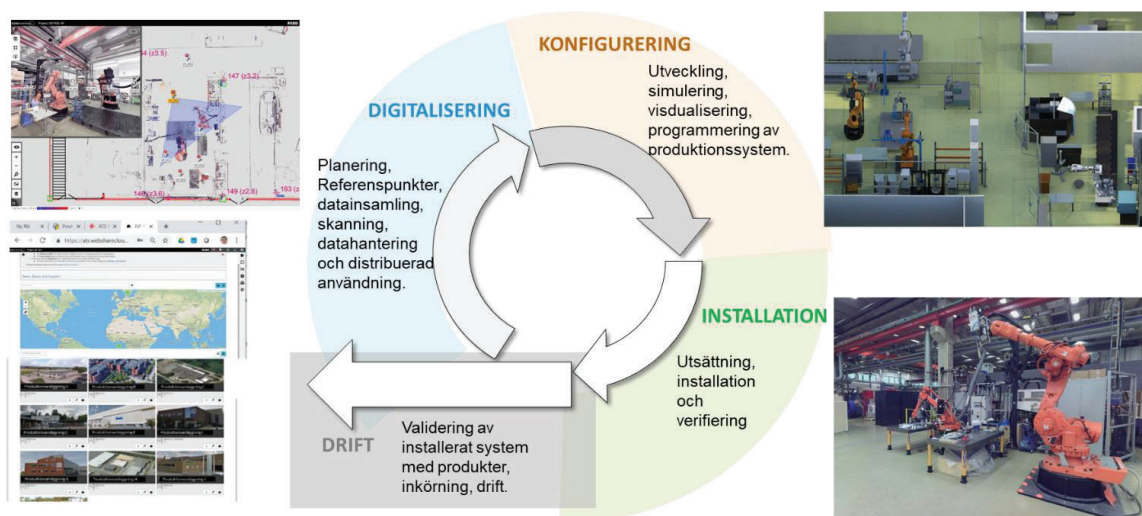
Ett av de viktigaste momenten i projektet har varit att genom fallstudier tillsammans med de deltagande företagen (se avsnitt om Fallstudier) avprova och utveckla teknik och metoder för en sammanhållen arbetsprocess. Denna process baseras på 3D-skanning och nyttjande av det punktmoln en sådan resulterar i, för att skapa en digital tvilling av automatiseringslösningar som är direkt implementerbara och lättvaliderade. Utgångspunkten har varit det arbetsflöde som finns etablerat på Volvo Cars kring att använda 3D-skanningsbaserad teknik och som visat på potentialen för ett sådan arbetssätt med kostnadseffektivisering och minskning av ledtider vid driftsättande av produktionssystem.

Projektet har riktat sig till SMF, både tillverkande företag och leverantörsföretag med de förutsättningar som dessa har. Jämfört med större tillverkande företag har de ofta dels inte samma strikta line-baserade produktion, dels råder de inte över produkten i samma utsträckning, och dels de förutsättningarna kring leverantörskedjorna med mindre automationsföretag. Små och medelstora tillverkningsföretag med begränsad kompetens och resurser har inte samma förutsättningar varför det är viktigt att se att ett liknande arbetsflöde även kan fungera under dessa betingelser.

Genom att följa och avprova teknik har projektgruppen successivt kunnat utveckla och etablerat stödjande metodik och teknik som också kan stöttas av guider för de olika delarna av flödet; digitalisering, konfigurerings och installation (se vidare resp avsnitt nedan). Forskningsparterna har arbetat tillsammans för att stödja projektpartnerna att utföra sina uppgifter och samtidigt ge projektpartnerna möjlighet att prova tekniken i relevanta tillämpningar med sin erfarenhet av hur ny teknik och metoder kan användas i deras industriella tillämpningar och situationer. Samtidigt har forskarparterna försökt utvinna uppgifter från de olika fallen, förfina och utveckla metodik och paketera resultat och erfarenheter för en bredare spridning.

Guidelines-dokument

För att stödja små och medelstora företag i att åstadkomma mer effektiv utformning, utveckling och installation av produktionssystem har projektet utvecklat mer detaljerade guidelines. Dessa ska stödja företag att åstadkomma ett arbetssätt där en digital produktionstvilling gör arbetet över livscykeln med produktionssystemet. Guide-dokumentet innehåller en övergripande beskrivning av ett arbetssätt som använder 3D-skannade digitala tvillingar av produktionsanläggningar för att mer effektivt utforma och installera produktionslösningar. Dels ges motiv till varför ett nytt arbetssätt är lämpligt, dels ges en översiktlig beskrivning av arbetssättet. Sedan beskrivs mer detaljerat arbetssättet i tre huvudsakliga faser i arbetet med digitala fabrikstvillingar: Digitalisering, Konfiguration och Installation, se Figur 1. Dessa är delar i en sammanhängande arbetsprocess som tillsammans leder till skapandet och upprätthållandet av operativt användbara digitala tvillingar för produktionssystemsutveckling.



Figur 1. Faserna i arbetet från digitalisering av produktionsanläggningen för att (1) skapa digital tvilling, (2) konfigurera nya systemet med stöd av digital tvilling och CAD-modeller, och (3) installera nytt system efter den digitala tvillingen.

En av de viktigaste aspekterna är att planera sitt arbete och tänka igenom vad som kommer att påverka den anläggning som man ska utveckla. Det kan gälla olika aspekter i den lokal där anläggningen ska installeras exempelvis pelare, elanslutningar, takhöjder, att det finns utrustning som man ska återanvända, vilka utrustningar som kommer att vara styrande för placering, installation etc eller vad som ger speciella förutsättningar. Syftet är ju att ta fram en detaljerad, noggrann och realistisk modell som stöttar allt utvecklingsarbete inklusive installation och validering. Viktigt är också att man inte enbart fokusera aspekterna av skanning som punkttäthet utan mer på noggrannhet i modellerna som används, exempelvis CAD-modellers detaljrikedom samt funktionalitet så att man kan genomföra den programmering och simulering av arbetsmoment som är tänkt att utföras.

För att lyckas arbeta effektivt med stöd av en digital tvilling är tekniklösningar viktiga men minst lika viktiga för att lyckas är väl fungerande arbetssätt. Det nya arbetssättet ska etableras och verka över lång tid och här fyller guiderna en viktig roll. Den förväntade effekten av dessa metoder är att installationer av utrustning efter virtuell verifikation kan genomföras snabbare, med ökad kvalitet och färre fel, vilket minskar kostnaderna kraftigt.

Verktyg för digitaliseringsarbetet

En digital tvilling av fabriken kan användas i planeringsstadiet och under upphandlingen av ombyggnation och installationer i fabriken. Den digitala fabrikstvillingen kan fungera som

visualisering vid diskussioner mellan involverade parter och representera en kvantitativ och objektiv nulägesbild av systemet som indata till simulerings- och modelleringsaktiviteter.

Skapandet av en digital fabrikstvilling består av etablering och inmätning av ett fabrikskoordinatsystem följt av 3D-scanning av fabriken. Etablering och inmätning av fabrikskoordinatsystemet görs en enda gång medan 3D-scanning kan upprepas vid behov allteftersom fabriken förändras över tid.

Ett fabrikskoordinatsystem, när det är etablerat, kan användas för all lägesinmätning av utrustning och byggnadselement. Det ersätter tidigare analoga metoder där man utgår från kända byggnadselement på ritningen, såsom en pelare, och förlitar sig på dess riktighet. Med en digital fabrikstvilling har man genom mätdata en, inom några mm, sann bild av både byggnad och befintlig utrustning att utgå från och riskerar därmed inte att lägesfel i ritningarna skall leda till följdfel i modelleringsarbetet eller försvåra installationen av utrustning.

Tekniken kring 3D skanning har funnits sedan tidigare och med den flertalet mer eller mindre formaliserade metoder för att uppnå önskat resultat. ATS AB har i samarbete med Volvo Cars utvecklat specialiserade metoder för att möta bilindustrins krav på korta ledtider och de strikta toleranskrav som följer av dess höga automationsgrad. En vidareutveckling av detta arbete som utförts inom DIP-projektet är framtagandet av fieldaid. Fieldaid är en app som supportar arbetet kring ett digitaliseringsprojekt från planeringsstadiet via skanoperatören i fält och genom bearbetningen av insamlade data. Appen digitaliserar stora delar av planeringsarbetet och den operativa dokumentationen som görs i fält. I planeringsfasen hanterar man i appen fabriksritningar och definierar de områden som skall digitaliseras, under den operativa fasen dokumenterar man skan- och referenspositioner samt säkerställer att tidigare nämnda arbetsmetoder följs. Som digitaliseringsverktyg ersätter fieldaid tidigare lösningar med spridda dokument för planering och analoga pappersritningar med anteckningar gjorda i fält.

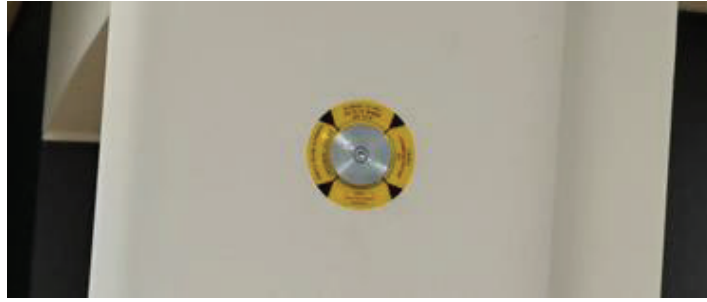
En sammanställning av de funktioner som realiserats digitalt i appen Fieldaid ges i Figur 2 nedan.



Figur 2: Översikt funktionalitet i Fieldaid

Referenser – uppsättning

Det första steget i arbetet på plats är etablera en infrastruktur i fabriken. Det görs genom montering av referensbrickor, se Figur 3, på valda platser i byggnaden. På dessa brickor sätter man sedan upp en referenssfär för att använda som referensobjekt vid inmätning, se Figur 4.



Figur 3: Monterad referensbricka med diameter.



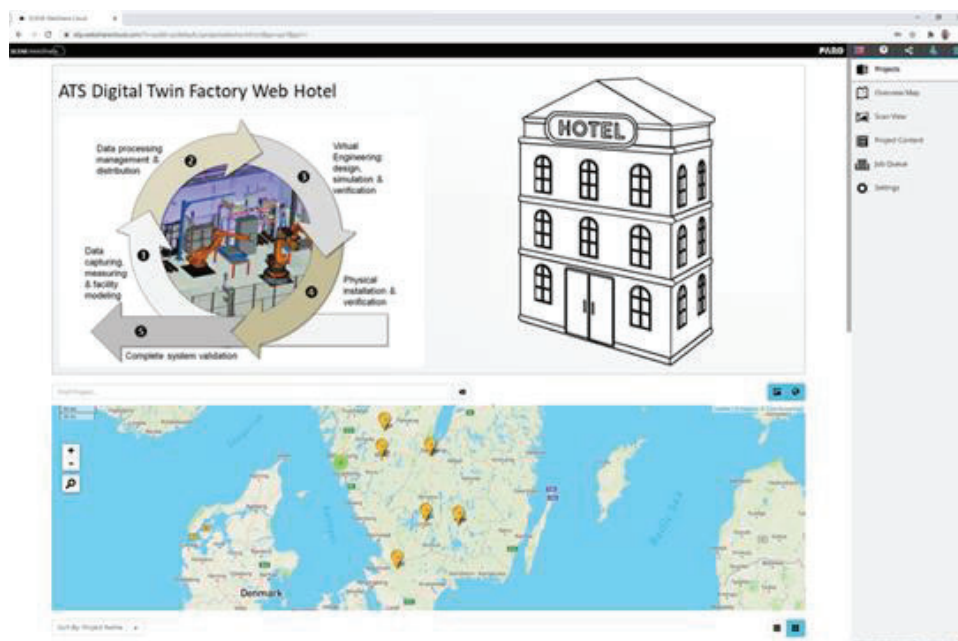
Figur 4: Samma bricka som i Figur 3 med uppsatt referenssfär.

Positioneringen av referensbrickor bör väljas så att:

1. De sprids jämnt i hela produktionshallen.
2. De monteras på en höjd som möjliggör sikt på långa avstånd.
3. De syns från minst 180 grader
4. De fästs på bestående byggnadselement utav betong eller stål.

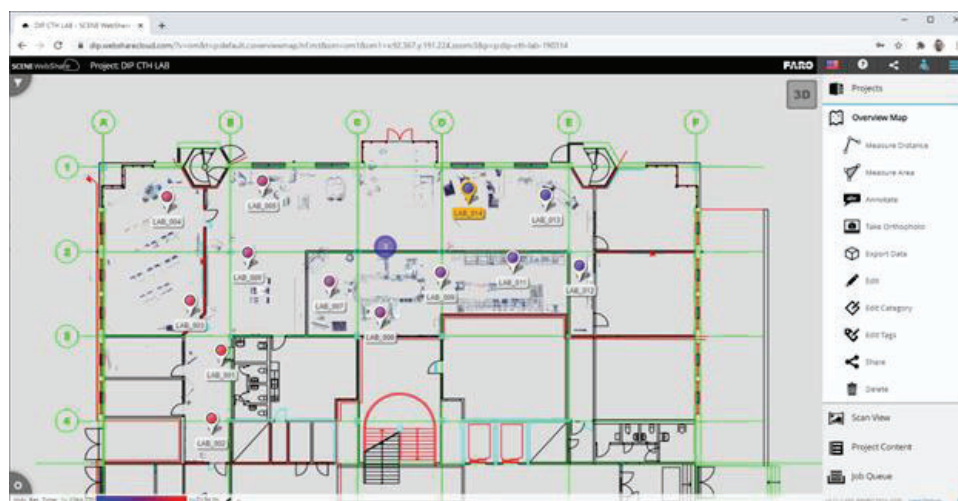
Webshare – plattform för digital tvilling

En mycket viktig del av arbetsflödet är att ge alla användare tillgång till resultaten av den inskanning man gjort av fabriken. Här har projektet arbetat vidare på den lösning som ATS erbjudit. Den Digitala fabriktvillingen görs tillgänglig via webhotellet för fabriker på dip.websharecloud.com. I Figur 5 nedan ses startsidan för webhotellet.



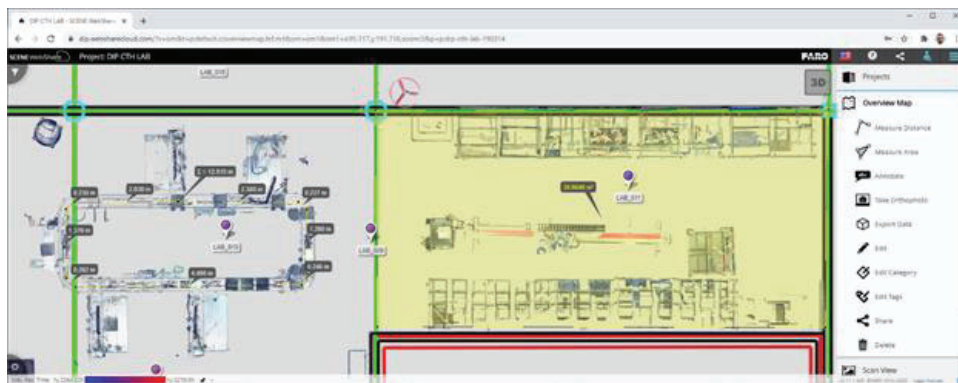
Figur 5: DIP Webhotell startsida, kartan ger en överblick över tillgängliga digitala fabrikstvillingar

Fabrikstvillingen och dess ingående data tillhör det tillverkande företag som också bestämmer vem som skall ha tillgång till inloggning via webhotellet. Access till individer eller underleverantörer kan tidsbestämmas för att användas under till exempel ett visst projekts livslängd. Från startsidan kan användare se och öppna upp de digitala fabrikstvillingar som denne har tillgång till. När en fabrik öppnas tas användaren till översikts vy skapad utifrån mätdata, se Figur 6.



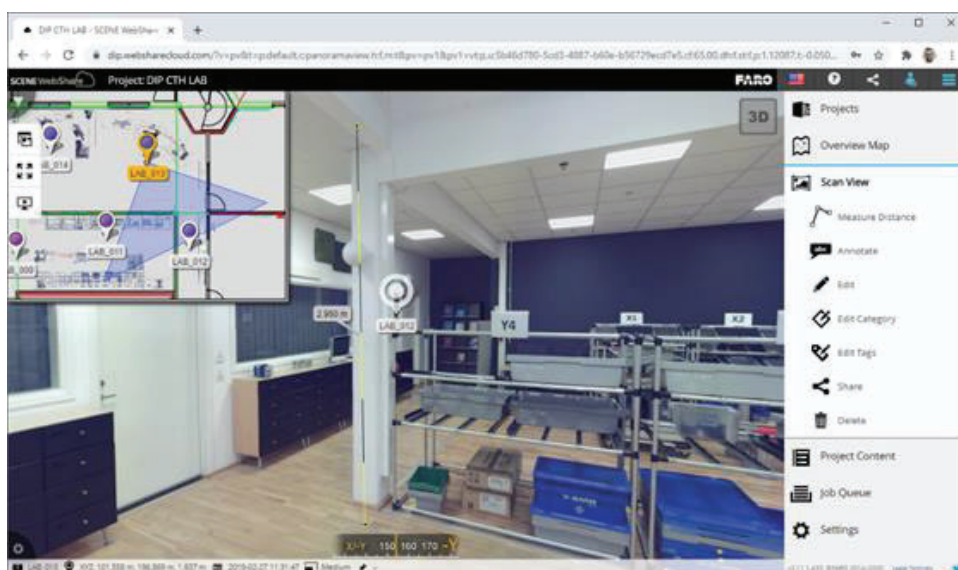
Figur 6: Överblick av en digital fabrikstvilling. CAD och mätdata är överlagrade och scanpositionerna är utmärkta med pins

Från denna vy kan användare navigera runt i fabriken och zooma in på valda delar för att utföra mätningar på exempelvis ytor eller avstånd mellan objekt. Figur 7 nedan illustrerar mätningar som gjorts i denna översiktsvy.



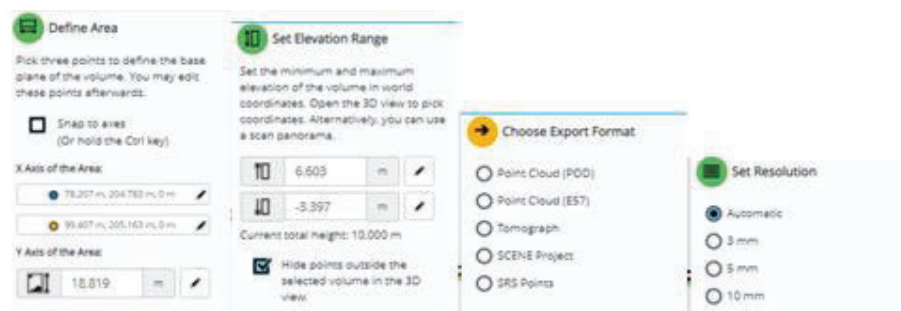
Figur 7: Exempel på mätningar i översiktssyn. Längden av en transportbandsloop och ytan på ett logistikområde

Det går även att öppna enskilda scanpositioner för att få en fotorealistisk sfärisk bild av omgivningen, det uppnås genom att klicka på en av de pins som markerar scanpositionerna på kartan. Detta läge kan användas för att motsvarande gå runt på fabriksgolvet och man kan klicka sig fram mellan scanpositionerna för att förflytta sig, se Figur 8 för ett exempel. Även i denna vy går det bra att göra mätningar eller till exempel skapa informationspunkter och dela dessa med andra användare. Vill man kan man när som helst generera en länk till den nuvarande vyn av fabriken och skicka till en kollega som diskussionsunderlag.



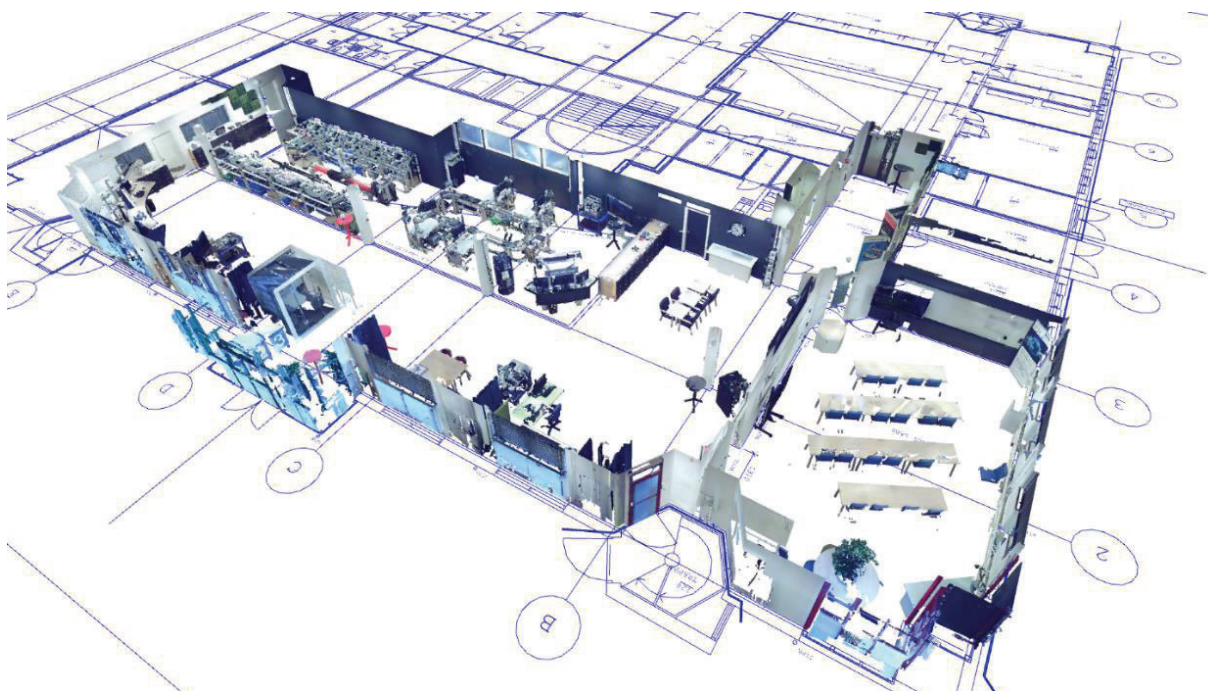
Figur 8: Fotovy där användaren har tagit mått mellan golvet och balken i taket. I övre vänstra hörnet ses översiktssyn infälld, den indikerar vart man befinner sig och i vilken riktning vyn pekar.

De vyer som beskrivs ovan är lättanvända och lättillgängliga, man behöver bara tillgång till en browser och ett inloggningskonto. För mer avancerade tillämpningar, såsom simulering eller layoutplanering i 3D programvaror kan punktmolnsdata begäras ut från webhotellet. Det görs genom att man direkt i översiktssyn definiera ett område med tre klick, väljer ett höjdintervall, filformat, och upplösning så skickas en nedladdningslänk till användarens e-post. Länken kan delas direkt med den eller de personer som skall utföra arbete med data. Se Figur 9 nedan för en illustration av exportförfarandet.



Figur 9: Exportförfarandet i fyra steg, område, höjdintervall, format och upplösning

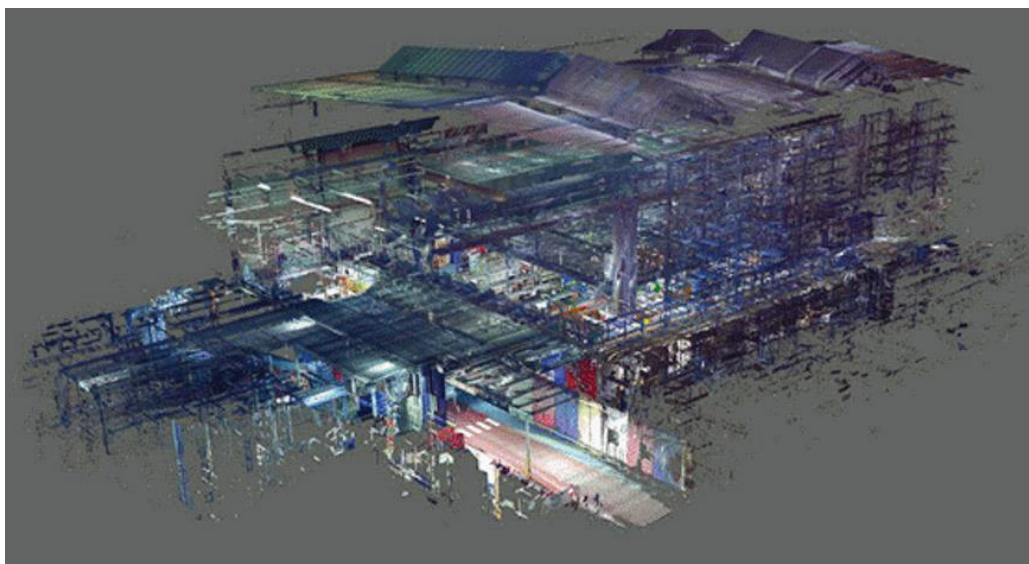
All exporterad punktmolnsdata befinner sig i fabriken layoutkoordinater. Det medför att övriga ritningar kan överlagras för att identifiera avvikelser eller för att positionera ut CAD modeller av ny utrustning i punktmolnet som ju beskriver nuläget på fabriksgolvet. Figur 10 ger ett exempel på hur export av punktmoln kan se ut, punktmolnet är sektionerat i höjd och inläst tillsammans med byggnadsritningen.



Figur 10: Punktmolnsdata exporterat från webhotellet ger en detaljerad bild av nuläget i fabriken. Här är höjdintervallet i exporten definierat som 0,05m-2,50m alltså strax över golvnivå till 2,5 meter upp.

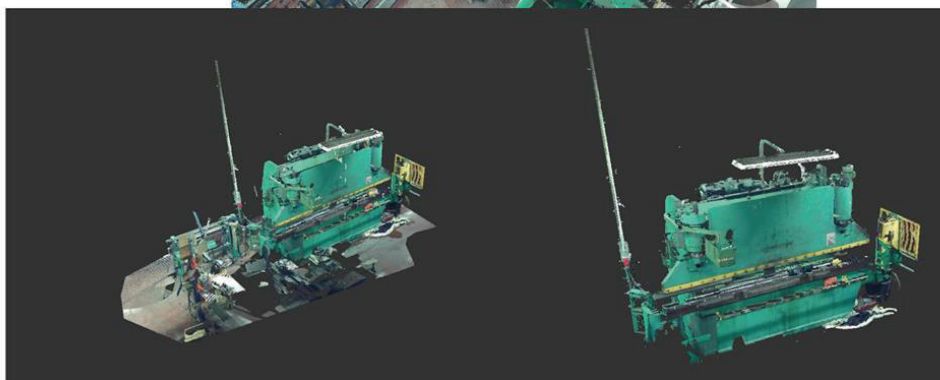
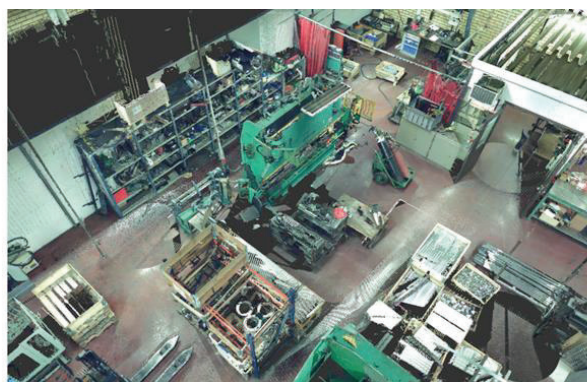
Konfigurerings

Forskargruppen har försökt belysa olika aspekter i arbetet med punktmolnsdata genom att delta i flertalet fallstudier tillsammans med de medverkande företagen. I dessa fall har företagen haft ett behov att genomföra virtuell planering/förberedelse för industriförändring, varpå forskargruppen initialt använt 3D-laserskanner för att ta fram en digital kopia av området som är aktuellt för industriförändringen, i ett så kallat "punktmoln" som exemplifieras i Figur 11.



Figur 11: Punktmoln av en 3D-laserskannad fabrikslokal.

Ett punktmoln är en stor samling av data bestående av koordinater i rymd (x,y,z) samt färginformation för varje koordinat (r,g,b) men utan tolkning av vad som representeras i datan. Forskargruppen har manuellt gjort denna tolkning i punktmolnet för att de medverkande företagen skall kunna utnyttja datan i industriförändringarna. Dessa tolkningar gjordes behovsanpassat, då sådant som ej skall förändras kan vara orört i ett större punktmoln medan individuella detaljer som skall ändras, flyttas eller tas bort segmenterades ner till individuella segment, exemplifierat i Figur 12.



Figur 12: Komplet punkt moln (toppen) segmenteras genom att bit för bit tas bort (vänster) tills endast önskad datamängd återstår, i detta fall separat maskin (höger).

Forskargruppen kombinerade därefter de olika delarna av punktmolnet med 3D CAD-modeller av ny utrustning i en realistisk modell av läget efter förändringen så att de medverkande företagen kunde utvärdera och utveckla sina industriförändringar och ta fram bättre alternativt säkerställa sina lösningar, exempelvis genom detaljrika och verklighetstroga simuleringsmodeller. Denna realistiska modell utnyttjades även i vissa fall i "virtual reality", vilket tillåter en användare att uppleva modellen omslutande i full skala. Utnyttjandet av detta verktyg gav fler intressenter möjligheten att utvärdera och ge värdefull input till den kommande industriförändringen i ett tidigt stadiet, långt tidigare än utan detta verktyg då den typen av input oftast kommer efter industriförändringen är installerad.

Installation

Forskargruppen har försökt belysa olika aspekter för installationsarbetet dels genom deltagande vid olika företagsfall dels vid egna installationer av utrustning i RISE Hybridfogningscell och RISE AM Postprocessing Cell (Manuela). Installationsarbetet har baserats på den digitala tvillingen som funnits beskriven i CAD-miljö tillsammans med det inskannade punktmolnet av verkstad/fabrik där utrustningen ska placeras.

Olika aspekter av att använda CAD-modeller för att skapa förutsättningar för utplacering av utrustningen har belysts, och hur man kan använda den digitala tvillingen för att planera intransport och flytt av utrustning. Här har forskargruppen också tillämpat en mjukvara IPS som har funktioner för kollisionfri banplanering för att visa hur en flytt av en stor plåtpress kan transporteras genom en trång verkstadslokal. Dessutom har man även i något/några av företagsfallen använt punktmolnet för att kontrollera att utrustning kunnat transporteras innan man fysiskt genomfört transport och installation.

Olika mätsystem för utplacering har prövats baserat på referenspunkterna som utplacerats i samband med skanningen av lokalerna. Resultaten visar på den höga precision vid installation som man kan uppnå om man konsekvent använder sig av dessa och det fabrikskoordinatsystem som etablerats. En svårighet har varit att övertyga personal som är vana att arbeta med manuella metoder om att det både blir effektivare och att precisionen förbättras.

Tydligast blir detta i trånga lokaler eller där det finns ett beroende mellan utrustningar som inte står i direkt anslutning till varandra men som kräver viss precision. En nackdel kan vara tillgången till avancerad mätutrustning som kan kräva extern medverkan då företagen själva inte har sådan mätutrustning. Traditionella tekniker kan ge god precision men viktigt är att inte utgå från stolpar och väggar som kan stå tiotals millimeter fel relativt byggnadsritningarna eller innehålla andra fel.

Eftersom det finns ett punktmoln med hög precision så finns det ingen anledning att inte använda detta och de inmätta referenserna som garanterar den höga noggrannheten.

Rekommendationen är verkligen att dessa används för att uppnå bästa möjliga precision och garantera att den digitala tvillingen kan användas av många olika användare i det fortsatta arbetet och vid förbättringar/förändringar. Rätt använt kan punktmolnet av lokalen förbereda mycket av installationsarbetet såväl för intransport av utrustning, mediainstallation (el, tryckluft, nätverk, vatten, avlopp, ventilation och eller materialtillförsel) som för inmätning av utrustning och kontroll av verkstadsgolvets planhet då de ofta inte är helt plana.

Fallstudier

Projektets arbete med utveckling av teknik och arbetssätt har baserats på fallstudier på de i projektet medverkande företagen.

Tabell 2. Fallstudier som genomförts i projektet.

Företag	Referenser, Skanning, tid	Beskrivning av fallstudie som genomförts
RISE IVF	Referenser och skanning genomfördes i tidigare projekt	Skanning av västra delen av verkstadslabbet
	Komplettering med fler referenser och skanning 2019	Visualisering och uppbyggnad av digital tvilling för Hybridfogningscell
	Skanning 2021 västra tredjedelen	Nyttjande av digital tvilling för säker och effektiv utflyttning av press
Chalmers SII-lab	Referenser och skanning 2019	Installation av pilot-produktionslina MANUELA för additiv tillverkning, Visualisering och användning i Hybridfogningscellens programmering
KB Components	Referenser och skanning 2020	Skanning av hela labbet med syfte lära metod, teknik och kunna visualisera labbet.
		Utredning och planering inför ombyggnation av produktion av (examensarbete) inkl 3D-skanning, flödessimulering, layoutförslag
Parker Hannifin:	Referenser och skanning 2019	Utformning, installation av ny tillverkningscell 2021
	Fler referenser och skanning 2021	3D Skanning inför nyinvestering av produktionslokaler
		Specifik studie av robotcell; Utformning och installation av slipmaskin
Plasman	Skanning 2018 (före projektet)	Skanning av anläggning i Göteborg, ombyggnation och nyinstallation av utrustning
	Referenser och skanning 2020 och 2021	Delar av produktion i Gent har 3D-skannats inför ombyggnation i två omgångar 2020 och 2021
Blomdahls	Skanning 2019	Examensarbete kring investering i nya maskiner samt projektarbete som delvis knyts till DIP-projektet, med studenter från Chalmers.
Plamex	Nyttjande av skanning gjord på KB	Nyttjande av DIP-metodik för utformning installation av cell på KB Components
	Referenser och Skanning	Utveckling och Installation hos Preciform
3Button Group:	Referenser och skanning 2019	Skanning av 3Button groups lab-lokaler
	Referenser och skanning 2019 Emballator Växjöplast	Utveckling, verifiering och installation av automationssystem på Emballator Växjöplast
	Skanning 2020 ModulPac	3D-skanning för nytt case Modulpac;

Examensarbeten

I projektet har ett antal studentarbeten inkluderats såväl projektarbeten som examensarbete på kandidat och masternivå.

Ett industriprojektarbete genomfördes under 2018-2019 hos Blomdahls Mekaniska AB. Arbetet utnyttjade inskannad modell för att förbättra visualisering av föreslagna förändringar som togs fram med stöd av simuleringsprogram. Under 2019 genomfördes två examensarbeten inom ramen för projektet. Dels ett arbete på Blomdahls Mekaniska av Olle Andersson, och Philip Maxe, dels ett arbete av Sandra Nyström och Britta Ottesjö som utvecklade en övergripande och strukturerad metod för att utvärdera ett företags digitaliseringsstillstånd och förbättringsområden. Båda dessa arbeten inleddes med företagsbesök hos åtta företag inom forskningsprojektet för att ta fram underlag för en metod för att bestämma digitaliseringsnivån för små och medelstora företag. Metoden vidareutvecklades av Sandra och Britta och tillämpades på Blomdahls Mekaniska där resultatet var en grund för att digitalisera teknik skulle tillämpas. Arbetet på Blomdahls nyttjade skanning för layoutplanering inför inköp av nya maskiner.

Under 2020 genomfördes ett layoutplaneringsarbete på KB Components med stöd från examensarbetet av Ludvig Luckmeier och Sara Forsberg. Med stöd av punktmoln över produktionsanläggningen utvärderades alternativ för ny layout.

Under 2021 genomfördes ytterligare examensarbete av Emma Valtersson och Viktor Bengtsson som genom intervjuer och studier på företag utvärderade den DIP-metodik som utformats. I arbetet identifierades flera utmaningar och behov med fokus på ekonomiska begränsningar, förändringsmotstånd, aktiv högsta ledning, en digital strategi och tydliga mål. Dessutom identifierades utmaningar kring bristen på kompetens och tekniska resurser och behovet av stöd. En förändringshanteringsmodell för SMF för användning av DIP-metodiken utvecklades med fyra faser - prospektering, planering, åtgärder och integration

Under 2021 har Fabian Mauritz genomfört ett examensarbete på ATS i samarbete med ABB och Parker Hannifin. Examensarbetet följer och hjälper till i installationen av en ny planslip i en fabrik som ägs av företaget Parker Hannifin och anpassar sig därför primärt till de programvaror som Parker har tillgång till. Det punktmoln som är inmätt från fabriken har skapats av examenkandidaten som utför examensarbetet och därför beskrivs hela processen från inmätning av data till användning av punktmoln. Examensarbetet största fokus är dock användningen av ett punktmoln för att modellera och passa in ny utrustning.

Erfarenheter från fallstudier

Arbetet med företagsfallen har gett många generella erfarenheter och framför allt gett företagen en möjlighet att få inblick i hur tekniken kan användas i deras typiska situationer. Samtliga fall visar att det finns mycket tid och pengar att spara i att informationen om förutsättningarna av lokalen/ytan är rätt och kan presenteras i form av ett punktmoln tillgängligt för visualisering, mätning och fortsatt utvecklingsarbete.

Mycket resande och problem kan undvikas genom att tillsammans kunna arbeta med stöd av en webbaserad plattform utan krav på speciella mjuk- eller hårdvaruplattformar. Detta har blivit speciellt viktigt nu under pandemin med rese- och besöksförbud där man ändå har kunnat visualisera och gemensamt diskutera cell/line-lösningar i rätt miljö. Dialogen har blivit kvalitativt mycket bättre då alla förstår tack vare visualiseringen, man vågar fråga och man har direkt kunna mäta och kunna i mer detalj diskutera för och nackdelar med olika lösningar. Experter och annan berörd personal har på ett helt annat sätt kunnat ha synpunkter och förstå föreslagna lösningar samt konstruktivt kunnat framföra sina synpunkter. Att ha tillgång till den verkliga miljön har gjort att man kunna visualisera och diskutera lösningar även för sådant som man i första hand inte kanske prioriterar utan som normalt kommer senare i arbetet, exempelvis placering av tryckluft, ventilation, transportlösningar, logistik, VVS, el, ständiga omflyttningar mm.

Specifikt inom digitalisering har arbetet med att placera referenspunkter och skanna lokalen upplevts som mycket smidigt och enkelt att utföra som underlättats av de verktyg (Field Aid) som utvecklats för att enkelt kunna planera och genomföra arbetet. Man har känt en stor trygghet i att skapa säkra referenspunkter och etablera ett verkstadskoordinatsystem med den höga precision som utrustningen ger till skillnad mot den osäkerhet som normalt råder i byggnadsritningar kontra verklig placering av väggar, pelare etc. Hinder som man ser för att det ska bli väl etablerat i företagets normala arbete är framför allt att det kräver tillgång till en relativt dyr utrustning och extern kompetens för att etablera punktmolnet men när det väl finns tillgängligt så är nyttan mycket stor. Det man ser är att skanningen behöver bli lättillgänglig som en tjänst så att det verkligen används vid förändringar och att data verkligen är aktuell. Man sparar mycket tid genom att ständigt kunna se och analysera hela lokalen inklusive traverser, truckgångar, lysrörsarmaturer, friskluftsblås etc även i arbetet för att göra risk och konsekvensbedömningar i det dagliga arbetet.

Även i konfigureringsarbetet med att skapa en lösning och en layout för produktionsavsnittet så ser man stor nytta av punktmolnet, dels genom visualisering och att kunna mäta och verifiera, dels genom att kunna exportera delar av punktmolnet för att kunna användas i utvecklingsarbetet i de CAD-baserade mjukvaror man använder eller för simulering och robotprogrammering. Man kan även enkelt skicka bitar av molnet till en leverantör eller man kan markera och kommentera i punktmolnet och skicka en länk som direkt ger mottagaren möjlighet att se vad det är man vill diskutera. Sammantaget ger det en bättre kvalitet på idéer och lösningar och ger olika specialister bättre möjlighet att göra sitt arbete med en bättre precision och effektivitet. Dock ser man att det kräver kompetens och betydligt bättre datorer och att fler mjukvaror behöver bli bättre på att hantera punktmoln integrerat med de funktioner som finns för simulering och programmering. Något som uppfattas som särskilt besvärligt är att kunna rensa i ett befintligt punktmoln för återanvända exempelvis en tom lokal, likaså kan det krävas en hel del arbete och även kopplat till digitaliseringen att återanvända en punktmolnsbaserad modell av en viss utrustning som man kanske inte har någon CAD-modell på. Det upplevs också stökigt att hantera flera olika mjukvaror för att manipulera punktmolnet och punktmolnsbaserade modeller för att skapa rätt förutsättningar för fortsatta arbete i de vanliga mjukvarorna. Det konstateras att det är tungarbetat att flytta runt punktmolnsbaserade modeller så fortsatt utveckling och forskning på hybridmodellering är önskvärt.

När man väl har utvecklat lösningen och layouten för produktionsavsnittet ser man också mycket stora fördelar i att kunna presentera den i kundens miljö. Även att presentera lösningen i en VR-miljö ger en bättre förståelse i kunddialogen men det är fortfarande en bit kvar innan man kan använda VR som ett ingenjörswerktyg i utvecklingen av produktionslösningen.

Erfarenheterna från att verkligen nyttja den digitala tvillingen i dess miljö med referenspunkter har varierat då man i vissa fall bedömt att man inte behövt den precisionen utan klarat sig med den inbördes relationen mellan delutrustningar. Några av fallen där det varit verkligt trångt har man haft stor nytta av att veta att man säkert kunnat transportera och placera ut utrustning så att man klarar åtkomst och undviker risk för exempelvis klämskador vid öppning av dörrar etc. Den digitala tvillingen medför att man kan planera sitt arbete och skapa underlag för att installationsarbetet ska kunna genomföras effektivt och med god precision. I de fall man valt att tillämpa tekniken fullt ut med att använda programmerbara mätutrustningar utifrån de etablerade referenserna så är erfarenheten att man vinner mycket tid och att man verkligen förs lita på att den digitala tvillingen överensstämmer med den fysiska utplaceringen. Man minimerar risker för potentiella problem. Att man konsekvent arbetar kring det etablerade koordinatsystemet gör det lättare att förstå om exempelvis en maskinflytt är möjlig och att man lättare får in utrustningen. Man kan även på ett annat sätt planera för en omställning i steg. Det som upplevs som ett hinder är att man behöver anlita en annorlunda kompetens än man är van vid och att det kräver tillgång till en relativt dyr utrustning som man inte är van att använda.

Generellt gäller att tekniken behöver mogna och att det krävs "eldsjälar" i respektive företag som kan driva på användandet och spridningen av den punktmolnsbaserade digitala tvillingen inom det egna företaget.

6.2 Måluppfyllelse

För projektets övergripande mål som var att utveckla metoder för små och medelstora företag för att använda 3D-skannade digitala tvillingar av produktionsanläggningar i sitt arbete att utveckla och installera produktionslösningar är måluppfyllelsen god trots påverkan av en pågående pandemi som naturligtvis försvårat arbetet. Syftet var ju att bygga på de tekniklösningar som Volvo Cars etablerat kring att använda ett 3D-skanningsbaserat arbetssätt vilket visat sig fungera mycket väl även för små och medelstora företag dock finns det fortfarande en del försvårande aspekter och tekniken är tyvärr inte mogen och etablerad på samma sätt i det utbud av programvaror som företag med mindre resurser arbetar med framför allt i kapaciteten att kunna hantera punktmolnsbaserade modeller. Samtidigt ska sägas att för just layoutarbete pågår etableringen av ett 3D baserat arbetssätt även på de större företagen så här skiljer det egentligen inte utan här behövs ytterligare insatser för att det ska bli en generellt etablerad teknik. Ytterligare teknik och metodutveckling krävs även för att nå ändå längre i att virtuellt kunna verifiera produktionslösningen fullt ut med samverkande utrustning, att kunna hantera applikationer som sitter på robotar i mjukvarorna och koppling till signalhantering etc

När det gäller den förväntade effekten av dessa punktmolnsbaserade metoder visar projektet och alla de typfall att det finns mycket tid och pengar att tjäna på att installationer av utrustning efter virtuell verifikation kan genomföras snabbare, med ökad kvalitet och färre fel, vilket också påverkar uppstarttider och förankringen hos berörd personal.

Det har varit viktigt för projektgruppen att utvecklad metodik och arbetssätt är generell och kan användas av små och medelstora företag eftersom resurser, behov och programvara skiljer sig åt.

Relativt programmet tog projektet sikte på de övergripande målen om en högre produktivitet i tillverkningsberedningen och i produktionsprocesserna. Detta har verkligen visats i alla de fall som projektgruppen arbetat med. Att kunna arbeta med en digital tvilling baserad på de verkliga förhållandena i lokalen genom en ständigt tillgänglig skannad modell har på ett helt annat sätt kunnat förbereda för introduktionen av nya automationslösningar i produktionen stött av virtuella modeller, simuleringar av såväl dörröppningar som robotbanor och en systematik för installation baserat på underlag från den digitala tvillingen.

För de mer produktrelaterade målen för programmet 2015-2020 tog projektet sikte på att förbättra flexibiliteten med verktyg för simulering och optimering av processerna och ökad produktivitet i beredningsprocessen. Även här bedöms projektet ha bidragit såväl med metod och teknikutveckling i stödsystem som i att sprida kunskap om ny tekniks möjligheter och effekter av ett förändrat arbetssätt. Projektet har också stärkt forskningssamarbetet mellan industrin, Chalmers och RISE IVF genom samverkande områdeskompetens. Även samverkan mellan företagen i leverantörskedjorna har kunnat stärkas exempelvis mellan systemleverantörer, installatörer och tillverkare och fått en naturlig spridning i systemleverantörernas fortsatta arbete med andra kundföretag. Den föreslagna öppna workshopen har tyvärr inte kunnat genomföras pga pandemins effekter men generell teknikspridning förväntas ske i fortsatt arbete.

7 Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Konferenser, publikationer, licentiatavhandling, doktorsavhandling
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Utvecklingsprojekt inom medverkande partner och forskningsprojekt.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Vidareutveckling av FieldAid och webshare-plattformen kommer att drivas av Visinator AB och ATS AB
Introduceras på marknaden	X	Verktyg och metodik kommer att användas av ATS AB och det nystartade satellitföretaget Visinator AB.
Användas i utredningar/regelverk/ tillståndsärenden/ politiska beslut		

Satellitföretaget Visinator AB har under projektet etablerats som certifierad utförare av framtagna metodik och tjänster inom området samt kommer att vidareutveckla verktyg inom området.

Projektet har presenterats vid följande tillfällen:

- Open technology Day, April 2019, RISE IVF
- FFI årskonferens, Oktober 2019
- Katrineholmskonferensen, September 2020
- Teknik workshops för partnerföretagen, Mars 2019 och Oktober 2021
- Inslag i kurser på Chalmers Högskole- och Civilingenjörsprogram

7.2 Publikationer

Ett studentprojektarbete

Leonard Bogojevic, Jens Buss, Viktor Karlsson, Naveen Kumarr Kandasamy and Nihar Mohan. (2019) "Production system improvement work on the production of fire resistant hatches", Project of the course PPU171 Industry project, Chalmers tekniska högskola

Tre kandidatexamensarbeten

Olle Andersson, Philip Maxe.(2019) "Digitaliseringsnivå för små och medelstora företag: Tillämpning av tekniker för höjning av digitaliseringsnivån", <https://hdl.handle.net/20.500.12380/300660>, Examensarbete, Chalmers tekniska högskola / Institutionen för industri- och materialvetenskap,.

Sandra Nyström, Britta Ottjesjö.(2019) "Metod för att mäta digitaliseringsnivå på små och medelstora företag", <https://hdl.handle.net/20.500.12380/300710>, Examensarbete, Chalmers tekniska högskola / Institutionen för industri- och materialvetenskap,.

Ludvig Luckmeier, Sara Forsberg. (2020) "Effektivisering av produktionsflöde med digital tvilling", <https://hdl.handle.net/20.500.12380/302166>, Examensarbete, Chalmers tekniska högskola / Institutionen för industri- och materialvetenskap,

Två masterexamensarbete

Emma Valtersson, Viktor Bengtsson.(2021) "Digital Twin for Development and Installation of Production Systems", <https://hdl.handle.net/20.500.12380/302886>, Examensarbete, Chalmers tekniska högskola / Institutionen för industri- och materialvetenskap,

Fabian Mauritz. "Generaliserad modell för utformning av Digital Tvilling". Examensarbete, Chalmers tekniska högskola / Institutionen för industri- och materialvetenskap, publiceras under våren 2022.

En licentiatavhandling

Nåfors (2019) On Brownfield Layout Planning, Licentiatavhandling, Chalmers tekniska högskola / Institutionen för industri- och materialvetenskap, <https://research.chalmers.se/publication/514487>

En doktorsavhandling

Nåfors (2021) Brownfield Factory Layout Planning using Realistic Virtual Models, Doktorsavhandling, Chalmers tekniska högskola / Institutionen för industri- och materialvetenskap, <https://research.chalmers.se/publication/526665>

Två konferensartiklar

D. Nåfors, B. Johansson, P. Gullander and S. Erixon (2020), "Simulation in Hybrid Digital Twins for Factory Layout Planning," *2020 Winter Simulation Conference (WSC)*, 2020, pp. 1619-1630, doi:10.1109/WSC48552.2020.9384075, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9384075>

Ottesjö, Nyström, Nåfors, Berglund, Johansson och Gullander (2020), A Tool for Holistic Assessment of Digitalization Capabilities in Manufacturing SMEs, *Procedia CIRP*, Volume 93, 2020, Pages 676-681, ISSN 2212-8271, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827120307022>

En journalartikel

Nåfors och Johansson (2021), Virtual Engineering Using Realistic Virtual Models in Brownfield Factory Layout Planning, *Sustainability* **2021**, 13(19), 11102; <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/19/11102>

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Projektet har på ett mycket konkret sätt visat på att tekniken med att arbeta med en digital tvilling för utveckling av produktionssystemet baserat på 3D skanning och stöd av det resulterande punktmolnet ger stora effekter på produktivitet och effektivitet, ökad kvalitet och minskat antal fel samt en bättre förankringen hos berörd personal. Samtidigt måste man ha med sig att tekniken fortfarande till vissa delar är relativt omogen och ytterligare utveckling krävs för att bli riktigt etablerad. På samma sätt som för all teknikutveckling som förändrar arbetssättet krävs både en satsning på breddinförande och etablering av rutiner, standardiserade arbetssätt och informationsspridning samtidigt som vissa delar av arbetsflödet kräver fördjupad forskning och teknikutveckling.

De vinster som projektet visar motiverar en breddsatsning på att få ut tekniken och arbetssättet till svenska företag, Forskargruppen med sin erfarenhet av andra liknande omställningar kan förutse att det finns ett stort behov av att driva ett teknikspridnings- och omställningsprojekt innehållande följande:

- Informationsspridning, utbildning, coaching.
- Praktisk förändringsledning och etablering av arbetssätt. Sverige behöver få fler företag att arbeta med detta arbetssätt och som kan fungera som ambassadörer för fortsatt spridning.
- Analys av vad som är nyckeln för att förändra arbetssättet för dessa företag för att ge generella råd till andra efterföljande företag.
- Successiv ökad mognad/kvalitet/stabilitet på teknik/metod-lösningar
- Successiv ökad kunskap, spridning, och användning hos svenska SME

Ett forskningsområde är dessutom en fördjupning av hur man kan/bör arbeta vidare med layoutarbete i 3D för att på kunna nyttja all tillgänglig teknik i utvecklingen av produktionssystemets digitala tvilling. Här finns ett stort behov att delar av punktmolnet kan objektifieras/reduceras för att kunna skapa "lättare" modeller som verkligen kan användas i utvecklingsarbetet. En sorts hybridmodellering krävs här för att skapa ett effektivt arbetsflöde och att uppbyggda modeller verkligen kan användas i simuleringar och programmering av utrustning.

Etableringen av webhotellet som ger användarna tillgång till skanningsresultaten av fabriken visar på ur effektivt detta är ur perspektivet att alla har tillgång till hur fabriken verkligen ser ut samtidigt kan man se ett stort behov av att nå lika långt i att ge användarna tillgång till det "framtida läget". Idag arbetar man ju vidare i andra miljöer och kombinerar CAD-modeller med delar av punktmolnet för att skapa den digitala tvillingen och virtuellt verifiera den. En naturlig del av fortsatt forskning vore att kunna presentera en hybridmodell där den utvecklade digitala tvillingen kan presenteras i fabriksmiljön på samma sätt. Då skulle man kunna nå ytterligare aspekter av förankring och möjligheter att kunna påverka layout och produktionssystem innan det är färdigutvecklat. Tankar har också förts fram om att kunna arbeta med och hantera samt presentera olika produktionslösningar sett över tid och hur detta arbeta skulle kunna stöttas av metodik, verktyg och teknik.

I analogi till den app som utvecklats för att stödja inmätningssprocessen och arbetet med att etablera referenserna i ett fabrikskoordinatsystem behövs djupare arbete kring samspelet mellan den utvecklade digitala tvilling och vilka verktyg som kan stödja installationsprocessen på ett kostnadseffektivt sätt behövs utvecklas. I dessa delar har projektet lidit av pandemins restriktioner och att inte kunna medverka på plats i samma utsträckning som önskvärt. Detta har ju naturligtvis gjort att arbetet inte kunnat konkretiseras på samma sätt vilket ur ett systemperspektiv är nödvändigt. Här finns också kopplingen till att man behöver komma ännu längre i att teknik, mjukvaror och system behöver forskningsmässigt komma längre gällande Virtual commissioning så att man kan hantera hela systemets olika aspekter virtuellt för att

minimera installationstid/justering på plats (hantering av PLC, applikationsutrustning som är monterad på robot, etc).

I några fall av studierna har VR-verktyg använts för att presentera och inhämta synpunkter på den utvecklade produktionslösningen. Dessa visar på ett potential till att kunna förstärka arbetet men tekniken visar sig fortfarande vara relativt omogen och det saknas fortfarande en hel del arbete innan VR blir ett verktyg i själva utvecklingsarbetet. Såväl teknik som metodik behöver utvecklas ytterligare.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Projektledare och koordinator för DIP-projektet har varit RISE IVF och övriga parter har varit Chalmers tekniska högskola AB, ATS Advanced Technical Solutions AB, Volvo Personvagnar AB, KB Components AB, Plamex Automation AB, Plasman Sverige AB, 3Button group AB, Göteborgs Industriinstallation AB, Blomdahls Mekaniska AB, Parker Hannifin Manufacturing Sweden AB, Ideal Group AB och Siemens Industrial software AB.

Projektperiod är sammantaget 38 månader och projektet startades 2018-11-01 med projektslut 2021-12-31

Kontaktpersoner från projektkonsortiet.

- **RISE IVF**
Per Gullander, Fredrik Martinsson, Fredrik Wandebäck
- **Chalmers**
Björn Johansson, Jonatan Berglund, Daniel Nåfors
- **ATS Advanced Technical Solutions AB**
Rolf Berlin, Göran Bergqvist
- **Volvo Personvagnar AB**
Mathias Sundbäck
- **KB Components AB**
Christoffer Erlandsson
- **Plamex Automation AB**
Bernt Björkman
- **Plasman Sverige AB**
Sven Erixon
- **3Button group AB**
Thomas Rosell
- **Göteborgs Industriinstallation AB**
Mats Blomen

- **Blomdahls Mekaniska AB**
Jan Blomdahl
- **Parker Hannifin Manufacturing Sweden AB**
Sune Eriksson
- **Ideal Group AB**
Nadim Bitar
- **Siemens Industrial software AB**
Johan Nordling

*Tillverkande
företag*



*Leverantörer
automations-
system*



3BUTTON GROUP

*Mjukvaror, teknik
och arbetssätt för
digital tvilling
produktion*

