

Instruction Innovation for Cognitive Optimisation (TACO)



Författare: Dan Li
Datum: 2022-01-31
Projekt inom FFI Hållbar produktion

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary in English.....	3
3 Bakgrund.....	4
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	5
5 Mål	5
6 Resultat och måluppfyllelse	5
6.1 Case Volvo Trucks, förmontage av boggiebalkar	6
6.2 Case Volvo Cars, slutmontering.....	8
6.3 Case Volvo Cars, slutkontroll	9
6.4 Case SAAB Aeronautics, sammanbyggnad	11
6.5 Arbetspaket 1: Digitalisering	13
6.6 Arbetspaket 2: Delning.....	14
6.7 Arbetspaket 3: Design.....	14
7 Spridning och publicering.....	14
7.1 Kunskaps- och resultatspridning.....	14
7.2 Publikationer.....	14
8 Slutsatser och fortsatt forskning	15
9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....	15
10Referenser.....	15

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

Digitalisering och kognitivt beslutsstöd utgör trender inom teknikutvecklingen som kan möta demografiska utmaningar och möjliggöra en större inkludering och tolerans för människors individuella förutsättningar inom tillverkningsindustrin. Genom att förbättra arbetsinstruktioner och anpassa dem till nya teknologier och utforma strategier för digitalisering av produktionsnära system ämnade TACO-projektet (TACO – insTruction innovAtion for Cognitive Optimisation) att ta itu med både existerande och framtida utmaningar som påverkar den svenska tillverkningsindustrins konkurrenskraft.

Syftet med TACO-projektet var därför att studera digitaliseringsmognaden hos de deltagande företagen, samt minska den mentala arbetsbelastningen för den produktionsnära personalen genom mer effektiv informationsdelning med hjälp av digitala arbetsinstruktioner.

De deltagande företagen har haft sina egna utvecklingsarbeten kring informationsdelning och instruktioner som involverar både digitalisering och nya arbetssätt. Inom ramen för detta, har TACO-projektet haft tre distinkta fokusområden som stöttat de olika företagens utvecklingsarbeten genom dessa arbetspaket:

- Digitalisering. Hur ser mognaden och strategier ut inom digitalisering?
- Delning. Hur och vilken information och kunskap kan delas bland produktionsnära personal?
- Design. Hur utformas stöd för effektiv delning och digitalisering av information och kunskap?

Caset hos Volvo Trucks var avgränsat till förmontage av boggiebalkar, med kort taktid och relativt hög produktvolym och hög produktvarians. I det ena caset hos Volvo Cars har fokuset varit i slutmonteringen och hur operatörer kan stöttas i den miljön med väldigt kort taktid, hög produktionsvolym och hög produktvarians. I det andra caset hos Volvo Cars har avgränsningen varit slutkontrollen där operatörer mäter olika delar av produkten för att säkerställa kvaliteten. SAAB Aeronautics har fokuserat på att utveckla och testa koncept kring visualisering av instruktioner med hjälp av Augmented Reality-teknologi (AR) för att stötta operatörer. Med väldigt långa cykeltider, låg produktvolym och låg produktvarians, fokuserar SAAB Aeronautics på kvaliteten.

Sammanfattningsvis, så skapade digitaliseringsmognadsanalyserna för varje företags-case ett underlag för implementerandet av nya digitala teknologier. Med detta så möjliggjordes förståelsen för de nuvarande förmågorna, så kunde mål för digitaliseringen sättas. Därefter kunde casen vidareutvecklas. I slutändan, så arbetar operatörer under olika förutsättningar, vilket ställer krav på instruktioner och informationsunderlag. Detta i sin tur medför implikationer för de lämpliga digitala teknologierna som kan tänkas användas.

2 Executive summary in English

Following the paradigm shift of Industry 4.0, a human-centred approach can help both improving the capabilities of manufacturing companies as well as the individual abilities of operators working in this environment – Operator 4.0. By improving work instructions and adapting them to new technologies and designing strategies for digitization of production systems, the TACO project (TACO - insTruction innovAtion for Cognitive Optimisation) aimed to address both existing and future challenges that affect the Swedish manufacturing industry's competitiveness. The purpose of the TACO project was therefore to study the digital maturity of the participating companies, and to reduce the cognitive workload for Operator 4.0 through more effective information sharing with digital information-support.

The participating companies have had their own development work for information-support that involve both digitization and new ways of working. Here, the TACO project had three distinct focus areas that have supported the various companies' development work through these work packages:

- Digitalization. What are the current digital maturity and future strategies for information sharing?
- Sharing. How and which information and knowledge content is shared on shop-floors?
- Design. How is the information-support designed for effective sharing of information and knowledge?

The case at Volvo Trucks was limited to pre-assembly of bogie beams, with short stroke time and relatively high product volume and high product variance.

In the first case at Volvo Cars, the focus has been on the final assembly and how operators can be supported in that environment with a very short running time, high production volume and high product variance.

In the second case at Volvo Cars, the delimitation has been the final inspection where operators measure different parts of the product to ensure quality.

SAAB Aeronautics has focused on developing and testing concepts around visualization of instructions using Augmented Reality (AR) technology to support operators. With very long cycle times, low product volume and low product variance, SAAB Aeronautics focuses on quality.

In summary, the digital maturity analyses created a basis for the implementation of new digital technologies. With this, the understanding of the current abilities was made possible, and goals for digitalization could be set. Thereafter, the various cases could be further developed. In the end, operators work under very different conditions, which requires different types of instructions and information-support. This in turn places demands on the appropriate digital technologies that may be used.

3 Bakgrund

Tillverkningsindustrins skifte av fokus från massproduktion till massanpassning och vidare mot personlig produktion (ElMaraghy et al., 2013) ställer krav på flexibla och omkonfigurerbara produktionssystem, med hög produktvariation (Koren och Shpitalni, 2010). Denna utveckling kräver att tillverkande företag klarar av att hantera produktionsrelaterade data, information och kunskap i sina produktionssystem (DalleMule och Davenport, 2017). Den snabba utvecklingen av digital teknologi skapar nya möjligheter för att göra just detta om man genomgår digitala transformationer (Oesterreich och Teuteberg, 2016). Industri 4.0 driver detta paradigmskifte (Lasi et al., 2014), men dess nytta och implementering kommer inte automagiskt (van Lente et al., 2013) och företag behöver anstränga sig för implementeringen av de nya digitala teknologierna i fabriksmiljöer (Dedehayir och Steinert, 2016).

Modeller för att studera och analysera digitaliseringsmognaden hos tillverkande företag utgör användbara vägledningsverktyg för att stötta digitala transformationer (Machado et al., 2019). Dessa digitaliseringsmognadsmodeller ska inte ses som en enkel väg för att uppnå Industri 4.0, utan som stöd för att identifierandet av förmågor och formulerandet av strategier och handlingsplaner för digitala transformationer (Colli et al., 2019).

I dessa Industri 4.0-miljöer spelar operatörerna den viktigaste rollen. Operatör 4.0, som rollen kan kallas använder sig av nya digitala teknologier för kognitivt stöd, skapandet av socialt hållbara arbetsmiljöer, och ett effektivt arbete (Romero et al., 2020). För Operatör 4.0 är presentation av information en tidigare pappersbaserad aktivitet som nu kan digitaliseras (Johansson et al., 2019; Palmqvist et al., 2020). Även om många nya teknologier utvecklas och färdiga lösningar finns tillgängliga är det fortfarande svårt att implementera tekniker som stödjer operatörer (Stentoft et al., 2019). Att framgångsrikt implementera digital teknik i produktionssystem kräver ett holistiskt tillvägagångssätt; en som beaktar både tekniska möjligheter och organisatoriska grunder (Schumacher et al., 2016).

Digitalisering och kognitivt beslutsstöd utgör trender inom teknikutvecklingen som kan möta demografiska utmaningar och möjliggöra en större inkludering och tolerans för människors individuella förutsättningar inom tillverkningsindustrin. Genom att förbättra arbetsinstruktioner och anpassa dem till nya teknologier och utforma strategier för digitalisering av produktionsnära system ämnade TACO-projektet (*TACO – insTruction innovAtion for Cognitive Optimisation*) att ta itu med både existerande och framtida utmaningar som påverkar den svenska tillverkningsindustrins konkurrenskraft.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Syftet med TACO-projektet var därför att studera digitaliseringsmognaden hos de deltagande företagen, samt minska den mentala arbetsbelastningen för den produktionsnära personalen genom mer effektiv informationsdelning med hjälp av digitala arbetsinstruktioner.

Detta för att göra det möjligt för tillverkande företag att dela produktionsrelaterad data, information, och kunskap mer effektivt inom sina produktionssystem. Att dela detta digitalt, eller mer specifikt både att sprida och att presentera, kräver olika tillvägagångssätt om det ska bli effektivt. Därför ställs tre forskningsfrågor för att uppnå syftet, vilket också motsvarar projektets fokusområden och arbetspaket.

Arbetspaket 1: Digitalisering

Fokus 1: Digitaliseringsstrategier för produktionsnära system

Fråga 1: Hur ser mognaden och strategier ut inom digitalisering?

Metod: Tillämpning av en modell för att analysera digitaliseringsmognaden, med fokus på delning av data, information, och kunskap. Analys med hjälp av modellen skapar förståelse av digitaliseringsmognaden inom fyra huvudsakliga områden (resurser, informationssystem, organisationsstruktur, och kultur).

Arbetspaket 2: Delning

Fokus 2: Delning och spridning av information och kunskap för produktionsnära personal

Fråga 2: Hur och vilken information och kunskap kan delas bland produktionsnära personal?

Metod: Utvecklingsarbete av digitala instruktioner tillsammans i casen.

Arbetspaket 3: Design

Fokus 3: Design och utvärdering av produktionsnära system med fokus på instruktionsdesign och avbrottshantering

Fråga 3: Hur utformas stöd för effektiv delning och digitalisering av information och kunskap?

Metod: Heuristisk utvärdering, där man studerar 10 olika aspekter:

1. Visibilitet
2. Mappning
3. Användarkontroll
4. Konsistens
5. Felprevention
6. Igenkännande
7. Flexibilitet
8. Minimalism
9. Felåterställning
10. Hjälps och dokumentation

Respektive företagscase har arbetat självständigt och utvecklat koncept för digitala instruktioner. Dessa har varit Volvo Trucks förmontering, Volvo Cars slutmontering, Volvo Cars slutkontroll, samt SAAB Aeronautics sammanbyggnad. Arbetspaketen, med dessa fokus och forskningsfrågor har arbetat tvärfunktionellt gentemot företagscasen och skapat generaliserbar kunskap i området.

5 Mål

Målet med projektet var ökad digitaliseringsmognad hos industrin, minskad kognitiv arbetsbelastning för produktionsnära personal och förbättrad produktkvalitet.

6 Resultat och måluppfyllelse

Nedan följer sammanfattning av resultatet från respektive företagscase, följt av de tre arbetspaketen.

6.1 Case Volvo Trucks, förmontage av boggiebalkar

Caset hos Volvo Trucks var avgränsat till förmontage av boggiebalkar, med kort taktid och relativt hög produktvolym och hög produktvarians. Här skapades monteringsinstruktioner som kunde anpassas beroende på operatörers erfarenhetsnivå. Vidare skapades koncept för hur informationsinnehållet i dessa monteringsinstruktioner kunde automatiskt inhämtas från olika datakällor.

AP1 och analys av digitaliseringsmognaden

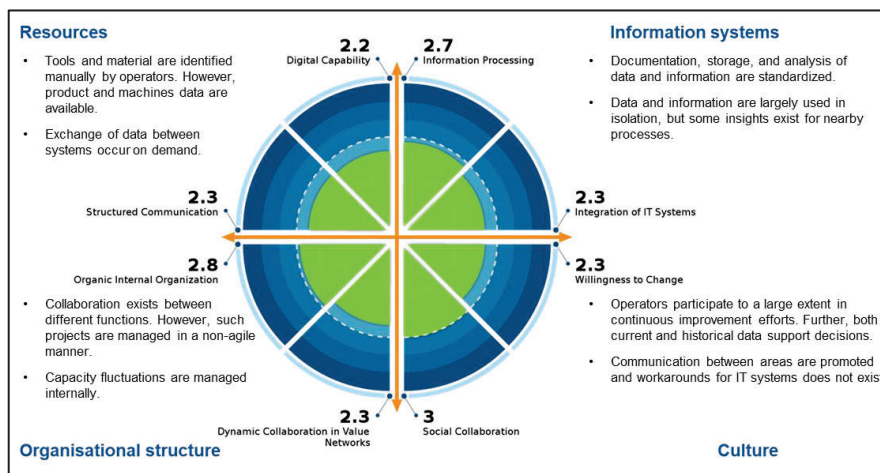
Delad data, information, och kunskap:

- Delad data: Sensordata från historisk användning av elektriska handverktyg, produkt- och maskinspårbarhet, samt produktionsindikatorer.
- Delad information: Monteringsinstruktioner och produktionsuppföljning.
- Delad kunskap: Operatörers erfarenhetsbaserade kompetenser.

Digitaliseringsmognad, sammanfattning per område:

- Resurser: Verktyg och material identifieras manuellt av operatörer. Produkt- och maskindata var lättillgängliga. Vidare skedde utbytet av data mellan system på efterfrågan.
- Informationssystem: Dokumentation, lagring, och analys av data och information var standardiserade men utnyttjas isolerat, även om insikter fanns för närliggande processer.
- Organisationsstruktur: Samverkan finns mellan olika funktioner, exempelvis för hantering av kapacitetsvariationer, men detta sker ej agilt.
- Kultur: Operatörer deltar i stor utsträckning i ständiga förbättringsarbetet. Vidare stödjer både aktuella och historiska data beslutsprocessen.

Sammantaget, föranleder detta till ett utfall i digitaliseringsmognadsbedömningen sammanfattat i figur 1.



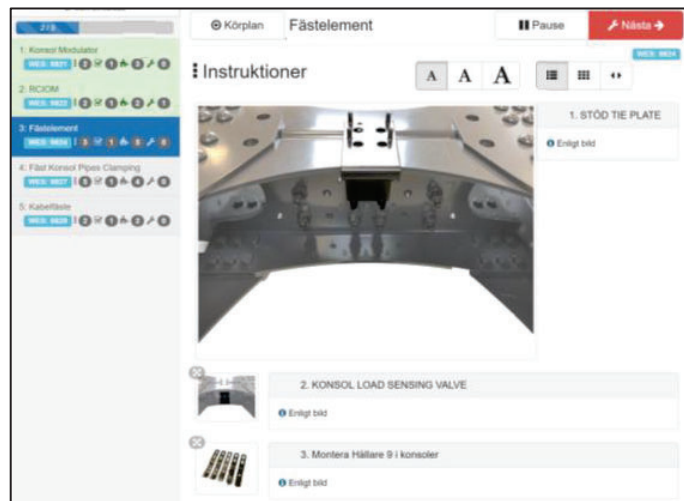
Figur 1: Digitaliseringsmognadsbedömning av Case Volvo Trucks.

AP2 och utvecklingen av informationsstödet

Det finns två huvudsakliga dokumenttyper som stödjer operatörer i deras monteringsarbete: Monteringsanvisning, en textbaserad lista skrivs ut på papper. Detta består av en lista över alla komponenter och material som används i monteringsprocedurerna (vad som ska monteras). Standarddokument för procedurer. Dessa innehåller information som monteringsanvisningen saknar, inklusive bilder och detaljerade instruktioner om monteringsprocedurerna (hur man monterar). Dessa dokument används oftast i utbildningssyfte.

I caset utvecklades ett koncept där olika mängder information presenteras beroende på operatörens erfarenhet (Askland och Eriksson, 2018). Detta koncept innehåller huvudsakligen bildbaserade, steg-för-steg-instruktioner, åtföljda av text. För erfarna operatörer kommer informationen som presenteras huvudsakligen från monteringsanvisningarna. För nya operatörer, presenteras också information från standarddriftprocedurerna. Ett exempel på gränssnittet visas i figur 2. För att detta koncept ska kunna fungera

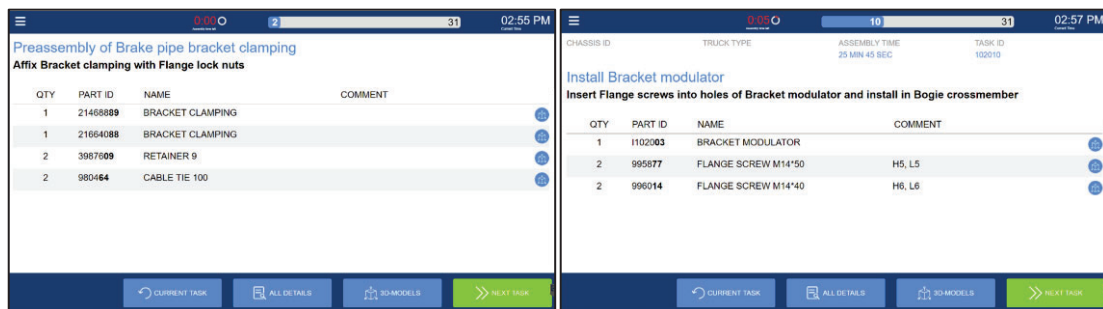
i stor skala utvecklade caset också en informationsmodell avsedd att generera instruktioner automatiskt (Bäckström och Westberg, 2021).



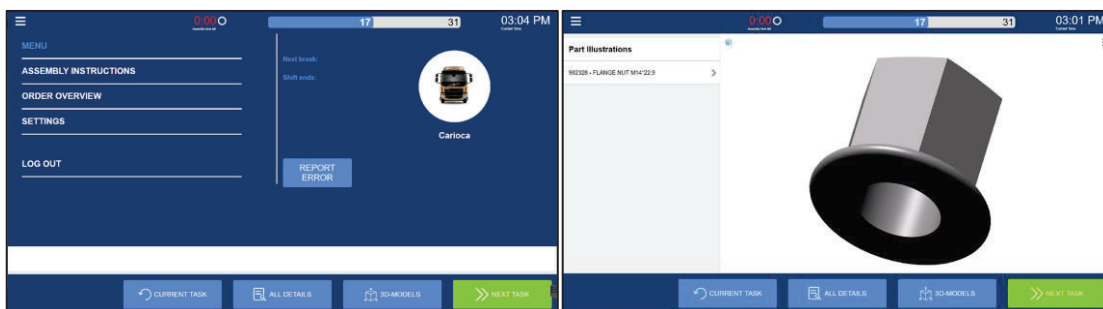
Figur 2: Exempel på instruktionsgränssnitt för Case Volvo Trucks.

AP3 och gränssnittsutvärdering av instruktionsdesignen

Baserat på informationsinnehållet som skapades (figur 2), så vidarearbetades användargränssnittet. Exempel på dessa framgår av figurerna 3 och 4.



Figur 3: Instruktionsgränssnitt, med text från Case Volvo Trucks.



Figur 4: Instruktionsgränssnitt, med bilder från Case Volvo Trucks.

För gränssnittet med text, från figur 3, så kan den heuristiska bedömningen sammanfattas så här:

1. Visibilitet: Ingen indikation av valda detaljer. Otydligt om det finns dold information. Sidhuvudet bidrar med god översikt.
3. Användarkontroll: 3D-modeller är redundanta i detta läge. Nästa operation borde triggas automatiskt.
8. Minimalism: Rent gränssnitt med rimligt utnyttjande av färger.
9. Felåterställning: Saknad av knapp för Paus/Andon.

För gränssnittet med bild, från figur 4, så kan den heuristiska bedömningen sammanfattas så här:

1. Visibilitet: Bra att sidhuvud förblir synlig i meny-läget (vänstra bilden).
3. Användarkontroll: Vyknapparna uppe till höger och vänster borde vara länkade (högra bilden).
4. Konsistens: Pilar indikerar när något är nedtryckt (högra bilden).
5. Felprevention: Bra att utloggningsknappen är längre bort för att förhindra felklick (vänstra bilden).

Sammanfattningsvis är det otydligt i vilken situation operatören befinner sig i. Vidare är det oklart om det finns dolda steg. Om alla komponenter är aktiva, borde variantkomponenter vara highlightade.

6.2 Case Volvo Cars, slutmontering

I det ena caset hos Volvo Cars har fokuset varit i slutmonteringen och hur operatörer kan stöttas i den miljön med väldigt kort taktid, hög produktionsvolym och hög produktvarians. Eftersom operatörer förväntas lära sig arbetsuppgifter utantill på grund av den korta taktiden, så utformades informationsstödet i formen av kortare symbolbaserade påminnelser utifrån operatörernas behov.

AP1 och analys av digitaliseringsmognaden

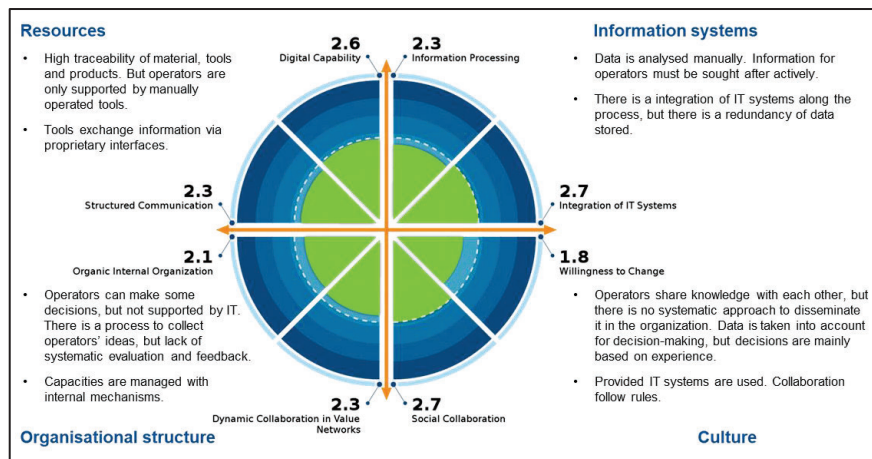
Delad data, information, och kunskap:

- Delad data: Automatiska mätningar från elverktyg och monteringskvalitetsproblem lagras manuellt i ett datorsystem.
- Delad information: Monteringsanvisningar i pärmar, aktuell produktionstakt på digitala bildskärmar och ett paper med tillverkningsinformation följer med alla produkter.
- Delad kunskap: Informellt och relaterar mest till operatörernas erfarenheter av hur man utför komplexa monteringsuppgifter.

Digitaliseringsmognad, sammanfattning per område:

- Resurser: Hög spårbarhet av material, verktyg och produkter. Denna data och information utbyts via egna gränssnitt. Operatörer stöds av manuellt manövrerade verktyg.
- Informationssystem: Historisk data analyseras manuellt och monteringsanvisningar för operatörerna måste eftersökas aktivt. Det finns en integration av IT-system längs processen, men det finns en redundans av den lagrade datan.
- Organisationsstruktur: Operatörer kan fatta vissa beslut men dessa stöds inte av IT-systemen. Det finns en process för att samla in operatörers idéer, men en brist när det kommer till systematisk utvärdering och återkoppling. Produktionskapaciteten hanteras med interna mekanismer.
- Kultur: Operatörer delar kunskap med varandra, men det finns ingen systematisk metod för att sprida den i organisationen. Data beaktas för beslutsfattande, men beslut baseras huvudsakligen på erfarenhet. De få IT-systemen som tillhandahålls används och samverkan sker regelbaserat.

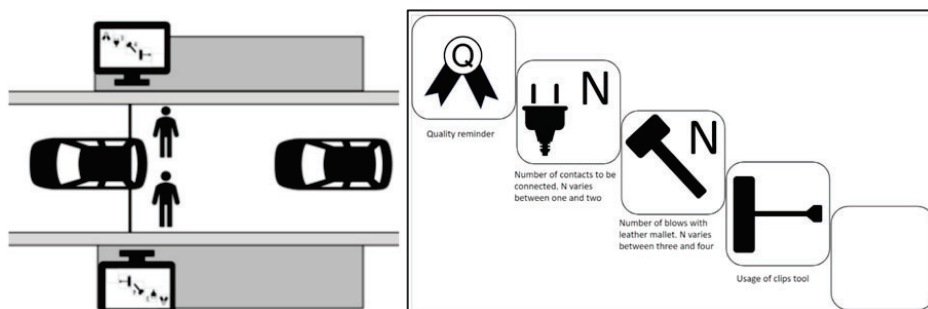
Sammantaget, föranleder detta till ett utfall i digitaliseringsmognadsbedömningen sammanfattat i figur 5.



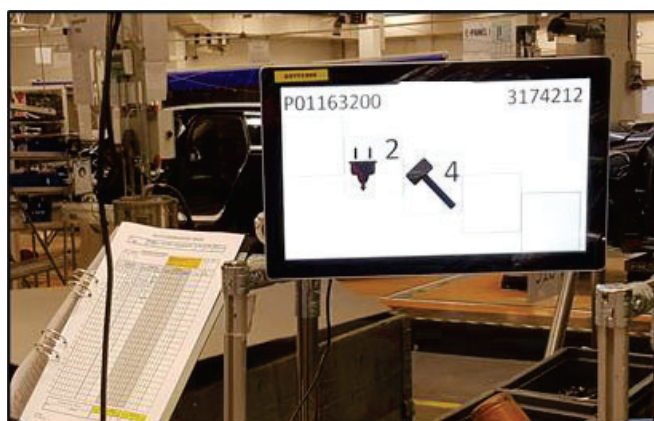
Figur 5: Digitaliseringsmognadsbedömning av Case Volvo Cars, slutmontering.

AP2 och utvecklingen av informationsstödet

För detta caset, med sina korta taktider, förväntas operatörerna lära sig arbetet utantill. Med andra ord, vad man ska montera och hur man monterar. Ett koncept med digitala monteringsanvisningar utvecklades för att minska kvalitetsrelaterade problem och kognitiv arbetsbelastning på operatörer (Palmqvist och Vikingsson, 2019; Palmqvist et al., 2020), se figur 6. Detta implementerades vid två arbetsstationer på produktionsbanan (Andersson och Trogen, 2020), se figur 7. Konceptet går ut på att ge påminnelser som lyfter fram viktiga uppgifter (en delmängd av vad som ska monteras), frekventa kvalitetsproblem och sällsynta produktvariationer. Dessa påminnelser visas som symboler, presenterade på monitorer för operatören när produkten flyttas till deras arbetsstation. På bilderna nedan syns skärmarnas position till vänster och exempel på vad som visas på skärmarna till höger, undertill syns hur det kan se ut vid banan för en operatör.



Figur 6: Instruktionskoncept för Case Volvo Cars slutmontering: placering av skärmarna med instruktioner till vänster och exempel på innehåll på skärmarna till höger.



Figur 7: Implementering av Instruktionskonceptet för Case Volvo Cars slutmontering.

AP3 och gränssnittsvärdering av instruktionsdesignen

Heuristisk utvärdering genomfördes inte för detta caset.

6.3 Case Volvo Cars, slutkontroll

I det andra caset hos Volvo Cars har avgränsningen varit slutkontrollen där operatörer mäter olika delar av produkten för att säkerställa kvaliteten. Med relativt lång cykeltid, låg volym, men hög varians, hamnade fokuset i caset på hur man kan underlätta operatörernas tillgänglighet till informationsunderlaget och möjligheten att rapportera in mätdatan. Detta tillgodogjordes av att skapa en lösning där en smartphone fäst på operatörernas armar kunde kopplas upp med övriga relevanta IT-system.

AP1 och analys av digitaliseringsmognaden

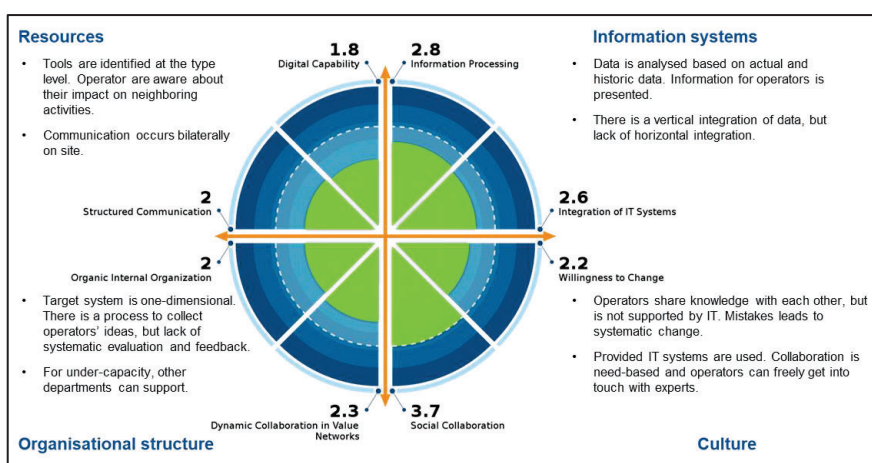
Delad data, information, och kunskap:

- Delad data: Delningen sker övervägande vertikalt, inklusive kvalitetsmättningsdata om geometriska toleranser, som aggregeras och sammanställs för prestationsindex.
- Delad information: Mättningsavvikelser från krav, vilket operatörer delar med monteringsprocessen.
- Delad kunskap: Operatörers informella erfarenheter, både om hur man utför komplexa uppgifter och hur man löser problem som kan uppstå.

Digitaliseringsmognad, sammanfattning per område:

- Resurser: Verktyg identifieras på typnivå. Operatörer är medvetna om sin påverkan på närliggande aktiviteter och kommunikation sker bilateralt på plats.
- Informationssystem: Data analyseras baserat på faktiska och historiska data. Information för operatörer presenteras. Det finns vertikal integration av data, men brist på horisontell integration.
- Organisationsstruktur: Målsystemet är endimensionellt och det finns en process för att samla in operatörers idéer, men saknar systematisk utvärdering och återkoppling. När kvalitetskontrollen har underkapacitet kan andra avdelningar stötta den.
- Kultur: Operatörer delar kunskap med varandra men stöds inte av IT för det ändamålet. Misstag leder till systematiska förändringar.

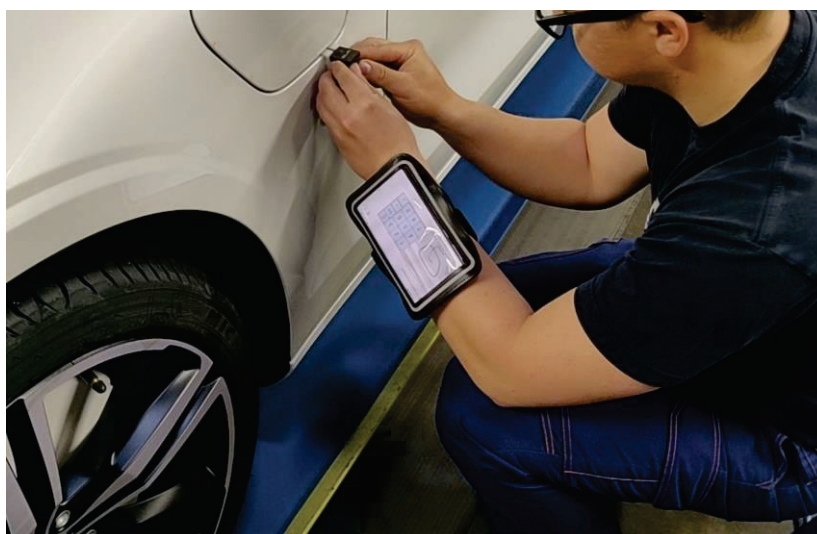
Sammantaget, föranleder detta till ett utfall i digitaliseringsmognadsbedömningen sammanfattat i figur 8.



Figur 8: Digitaliseringsmognadsbedömning av Case Volvo Cars, slutkontroll.

AP3 och gränssnittsvärdering av instruktionsdesignen

För detta caset om off-line kvalitetskontroll, implementerades en smartphonelösning för att minska operatörernas avstånd till information. Detta så att tillgängligheten till informationsutbytet förbättras (Billskog Johansson och Chowda Shetty, 2020). Utvecklingen av interoperabilitet utformades för att visa proof-of-concept inom ramen för den befintliga IT-infrastrukturen. Smartphones placerades på operatörernas underarmar innebar färre avbrott i arbetsflödet, se figur 9.



Figur 9: Användning av smartphone för Case Volvo Cars slutkontroll.

AP3 och utvärdering av instruktionsdesignen

Heuristisk utvärdering genomfördes inte för detta caset.

6.4 Case SAAB Aeronautics, sammanbyggnad

SAAB Aeronautics har fokuserat på att utveckla och testa koncept kring visualisering av instruktioner med hjälp av Augmented Reality-teknologi (AR) för att stötta operatörer. Med väldigt långa cykeltider, låg produktvolym och låg produktvarians, fokuserar SAAB Aeronautics på kvaliteten. De befintliga instruktionerna innehåller 3D-geometri som underlag för operatörerna. Med denna data som bas, skapades en lösning där arbetsmomenten kunde visualiseras med AR. Detta togs fram för att kunna testas i företagets utbildningsmiljö för nya operatörer.

AP1 och analys av digitaliseringsmognaden

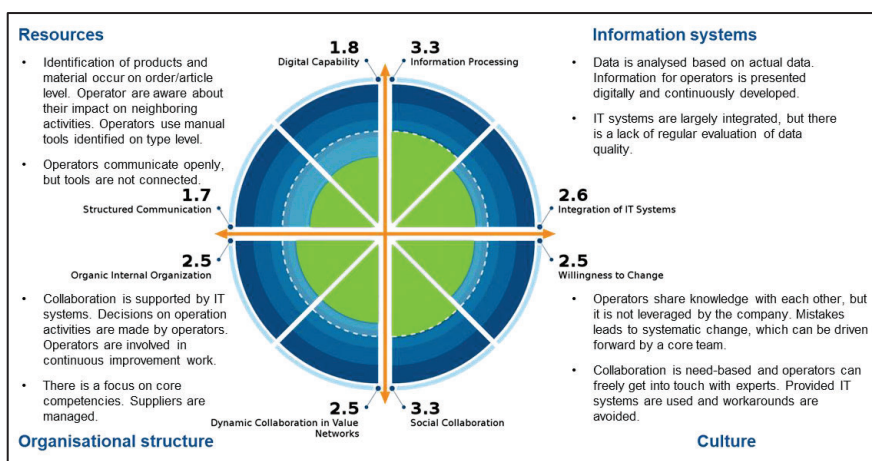
Delad data, information, och kunskap:

- Delad data: Uppföljning av produktionen, prestationsindex skrivna på en whiteboard. Lokala elverktyg kan ge signaler för att uppgiften ska slutföras, men sådan data lagras inte och utbyts därför inte.
- Delad information: Digitala monteringsanvisningar som stöds av 3D-ritningar. Information om produktionsuppföljning delas mellan operatörerna vid daglig-styrning-möten, som också får feedback på ständiga förbättringsarbete.
- Delad kunskap: Hur man utför komplexa uppgifter. Detta sker systematiskt, erfarenheter delas med andra grupper för att förstå och lära sig. Operatörer är villiga att dela sin kunskap med andra. Nya operatörer får en mentor, en erfaren operatör, för att hjälpa till att överföra kunskap.

Digitaliseringsmognad, sammanfattning per område:

- Resurser: Identifiering av produkter och material sker på order- eller artikelnivå. De manuella verktyg som används av operatörer identifieras dock på typnivå. Operatörerna är medvetna om deras inverkan på närliggande verksamheter.
- Informationssystem: Data analyseras baserat på faktisk data. Information till operatörer presenteras digitalt och utvecklas kontinuerligt. IT-systemen är till stor del integrerade, men det saknas regelbunden utvärdering av datakvalitet.
- Organisationsstruktur: Samverkan stöds av IT-system. Beslut om driftverksamhet fattas av verksamhetsutövare. Operatörer är involverade i ett ständigt förbättringsarbete.
- Kultur: Operatörer delar kunskap med varandra, men den utnyttjas inte av företaget. Misstag leder till systematisk förändring, som kan drivas framåt av ett kärnteam. Samarbetet är behovsbaserat och operatörerna kan fritt komma i kontakt med experter.

Sammantaget, föranleder detta till ett utfall i digitaliseringsmognadsbedömningen sammanfattat i figur 10.



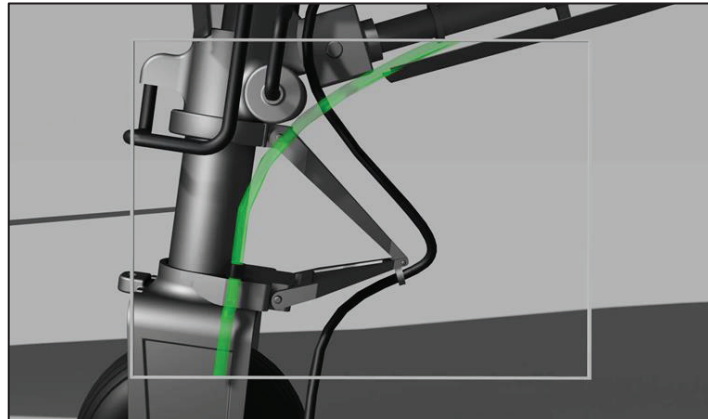
Figur 10: Digitaliseringsmognadsbedömning av Case SAAB Aeronautics.

AP2 och utvecklingen av informationsstödet

En demonstrator för AR utvecklades för att förkorta avståndet mellan operatörer och deras instruktioner.

Denna demonstrator använder samma underliggande designmodeller som i det standardiserade

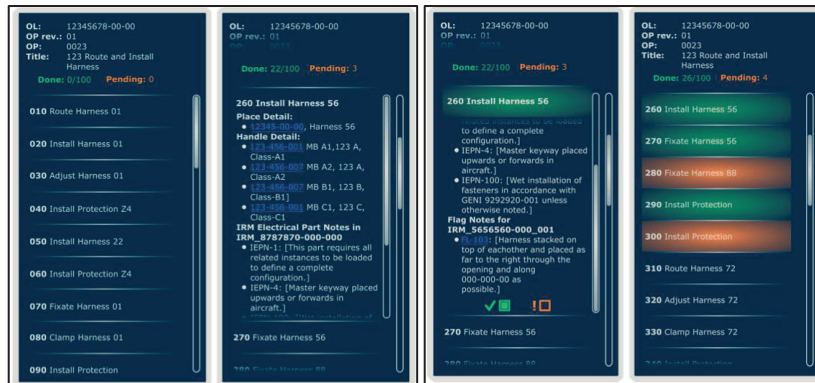
monteringsinstruktionsgränssnittet. AR-applikationen är programmerad att känna igen formen på en tidigare monterad produkt och lägga över en bild av nästa komponent som ska monteras i 3D-utrymmet, se figur 11.



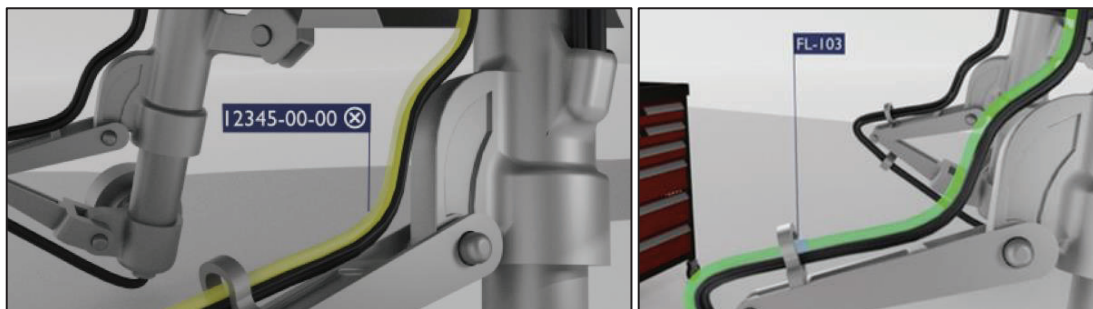
Figur 11: AR-overlayen för Case SAAB Aeronautics.

AP3 och gränssnittsutvärdering av instruktionsdesignen

I figur 12 framgår menygränssnittet i AR-miljön och i figur 13 framgår AR-overlay-miljön.



Figur 12: Menygränssnittet i AR-miljön för Case SAAB Aeronautics.



Figur 13: Instruktionsgränssnittet med AR-overlay för Case SAAB Aeronautics.

För menygränssnittet, från figur 12, så kan den heuristiska bedömningen sammanfattas så här:

1. Visibilitet: Bra översikt, men dåligt med att kunna urskilja detaljer. Sidhuvud borde vara synligt hela tiden.
2. Mappning: Mappningen av operationen är begränsad.
3. Användarkontroll: Otydligt hur man stänger menyn.
4. Konsistens: Sidhuvud är inkonsistent mellan olika vyer. Expanderbara kontroller borde förtydligas.
5. Felprevention: Dubbla scroll-barer skapar förvirring.
6. Igenkännande: Antar att operatören har erfarenhet.
8. Minimalism: Kontroller behöver bli tydligare.

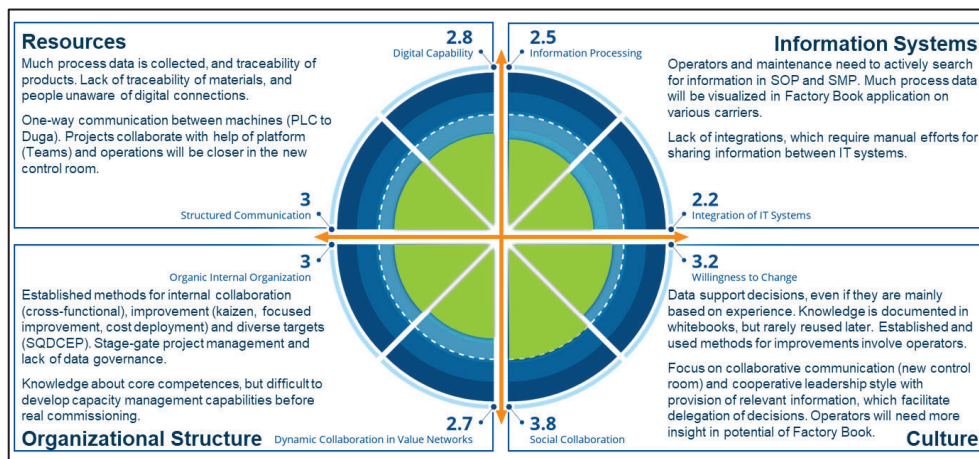
För instruktionsgränssnittet med AR-overlay, från figur 13, så kan den heuristiska bedömningen sammanfattas så här:

2. Mappning: Färgerna för det highlightade komponenter och textboxen borde matchas.
4. Konsistens: Otydligt vad som är klickbart eller inte. Färgerna och knapparna är också inkonsistenta i olika vyer.

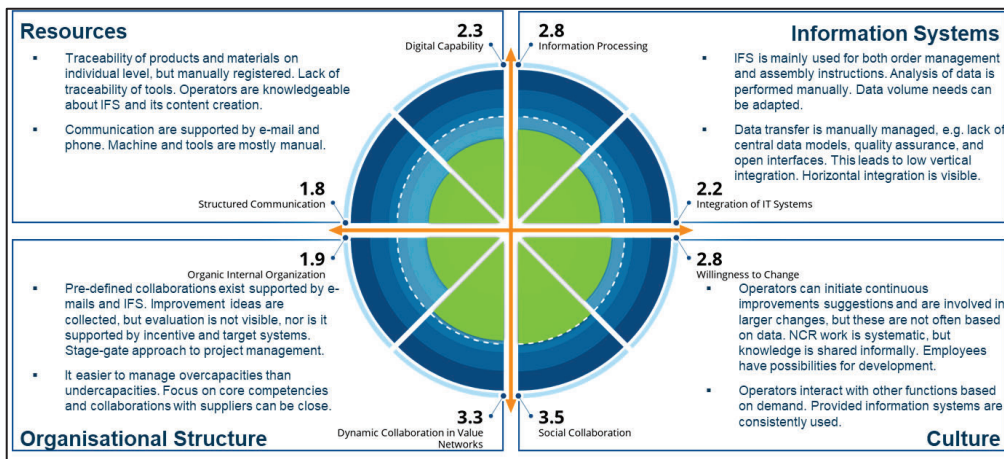
Sammanfattningsvis är detta estetiskt tilltalande, men inkonsistens kring hur man på ett standardiserat sätt visualiserar olika objekt saknas.

6.5 Arbetspaket 1: Digitalisering

Utöver ovanstående digitaliseringsmognadsbedömningar genomfördes inom ramen för projektet ytterligare två analyser, en hos Volvo (figur 14) och en hos SAAB (figur 15), för jämförelser inom företagen.



Figur 14: Digitaliseringsmognadsbedömning av Volvo Powertrains gjuteri.



Figur 15: Digitaliseringsmognadsbedömning av SAAB Surveillances monterings.

Dessa två analyser skapade jämförbarhet inom de tillverkande företagen som deltog i projektet med case, även om dessa två digitaliseringsmognadsanalyser inte var kopplade till något arbete med utveckling av digitala instruktioner.

Ur ett produktionssystemsperspektiv visar tillvägagångssättet med att analysera digitaliseringsmognaden att det är möjligt att studera den digitala informationsspridningsförmågan. Att bedöma digitaliseringsmognaden kan underlätta en mer effektiv informationsspridning i produktionssystem genom dess utgångspunkt för att formulera utvecklingsplaner för att öka digitaliseringsmognaden. En ökad digitaliseringsmognad ger företagen nya möjligheter att sprida information.

De olika tillverkande företagen har olika nivåer av digitaliseringsmognad, allt från att fortfarande vara beroende av pappersinstruktioner vid slutmontering till att dela information med hjälp av IT-system som är synliga från olika delar av produktionssystemet, samt förenklandet av informationsdelningsprocessen. Mellan pappersbaserad delning och synlighet ligger initial datorisering och uppkoppling. Men dessa nivåer kräver fortfarande manuella ansträngningar för att informationsdelningen ska fungera. Dessutom kan digitaliseringsmognadsbedömningarna användas för att underlätta identifiering av nya möjligheter och skapandet av utvecklingsplaner för att göra informationsspridningen mer effektiv och i förlängningen bidra till en digital transformation mot Industri 4.0.

6.6 Arbetspaket 2: Delning

En jämförelse av monteringsinstruktionerna mellan casen i projektet visar att olika produktionskaraktäristik skapar väldigt olika förutsättningar för operatörers dagliga arbete, vilket kräver olika typer av information som kognitivt stöd.

Att tillämpa digital teknologi kan skapa nya möjligheter att presentera information för operatörer. Genom att demonstrera en mängd olika tillvägagångssätt för hur monteringsanvisningar är utformade (när det gäller informationsinnehåll), kan företag välja ett tillvägagångssätt som kommer närmare effektiv uppfyllelse av operatörernas kognitiva stödbehov. Detta har vi gjort inom ramen för detta projekt.

6.7 Arbetspaket 3: Design

Den heuristiska utvärderingen av instruktionerna skapade mycket information som ligger till grund för vidare utveckling av instruktionernas gränssnitt.

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	Erfarenheter från projektet har presenterats på akademiska konferenser, klusterkonferensen, som underlag för teknikworkshoppar, samt i undervisning för högskolestudenter.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Arbetet i detta projektet har utgjort en del av ansökningar till andra forsknings- och innovationsprojekt. Till exempel: Digitala Stambanan Produktion och Digitalis.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt		
Introduceras på marknaden		
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		

7.2 Publikationer

Examensarbeten på följande områden relaterade till projektet:

- Case Volvo Trucks, utveckling och testning (Askund och Eriksson, 2018)
- Vidareutveckling vid Volvo Trucks (Bäckström och Westberg, 2021)
- Case Volvo Cars slutmontering, konceptutveckling (Palmqvist och Vikingsson, 2019)
- Case Volvo Cars slutmontering, test av implementering (Andersson och Trogen, 2020)
- Case Volvo Cars slutkontroll, utveckling och utvärdering (Billskog Johansson och Chowda Shetty, 2020)

Doktorsavhandling på följande områden relaterade till projektet:

- Digitaliseringsmognadsbedömningarna och sammanfattning av instruktionscasen (Li, 2021)

Vetenskapliga artiklar på följande områden relaterade till projektet:

- Sammanfattning av Case Volvo Cars, slutmontering (Palmqvist et al., 2020)
- Litteraturstudie på instruktionsdesign (Kuipers et al., 2021)
- Sammanfattning av instruktionscasen (Li et al., 2022)

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Digitaliseringsmognadsbedömningarna har skapat insikter som hjälper till att förstå den nuvarande situationen och framtida utmaningar för digital transformation till Industri 4.0. Resultaten visar olika aspekter av digitaliseringsmognad och dess roll för en effektiv informationsspridning i produktionssystem. För tillverkningsindustrin i allmänhet ger detta också möjligheter till benchmarking. För de deltagande företagen var bedömningarna av digitaliseringsmognad användbara för att ge insikter i företagets produktionssystem och stödja dem i deras framtida digitala transformationer till Industri 4.0.

Bland de utvecklade digitala instruktionskoncept har olika digitala teknologier utvecklats och testats hos svenska tillverkningsföretag. Dessa insikter hjälper till att skapa förståelse för hur man ger kognitivt stöd för Operator 4.0. Detta bidrar till den allmänna kunskapen om kognitiv automation. Resultaten visar att de varierande omständigheterna för operatörers arbete kräver olika kognitiva stödverktyg för att tillgodose informationsbehoven, samt demonstrerar en mängd möjliga digitala teknologier som kan tillämpas. För tillverkningsindustrin i allmänhet har projektet bidragit med inspiration till möjliga lösningar för att stödja operatörer kognitivt. För de deltagande företagen i projektet var de många utvecklingarna av digital teknologi användbara för att tillhandahålla kognitivt stöd för operatörer, vilket bidrar till den digitala transformationen till förmån för Operator 4.0.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Chalmers, Industri- och materialvetenskap: Dan Li och Åsa Fast-Berglund

Chalmers, Teknikens ekonomi och organisation: Anna Landström och Dan Paulin

Högskolan i Skövde: Peter Thorvald

SAAB Aeronautics: Christian Bråthe och Tomi Uimaniemi

Volvo Cars: Alf Andersson och Anna Davidsson

Volvo Group Truck Operations: Pierre Johansson

Combitech: Anna Malm

10 Referenser

Andersson, A. and Trogen, W. (2020) *Development and Evaluation of Digital Assembly Instructions: Cognitive Support in Final Assembly*. MSc thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg.

Asklund, E. and Eriksson, R. (2018) *Digital Dynamic Work Instructions in a Variant Driven Industry: An Investigation on the Effects of Dynamic Instructions on Operator User Satisfaction*. MSc thesis,

Chalmers University of Technology, Gothenburg.

Billskog Johansson, K. and Chowda Shetty, M. (2020) *Digital Visualization of Quality Data in Final Demands Station*. MSc thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg.

Bäckström, W. and Westberg, C. (2021) *Information model for auto-generation of work instructions in final assembly*. MSc thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg.

- Colli, M.; Berger, U.; Bockholt, M.; Madsen, O.; Møller, C.; and Vejrum Wæhrens, B. (2019) A maturity assessment approach for conceiving context-specific roadmaps in the Industry 4.0 era. *Annual Reviews in Control*, vol. 48, pp. 165-177.
- DalleMule, L. and Davenport, T.H. (2017) What's Your Data Strategy? *Harvard Business Review*, vol. 95, no. 3, pp. 112-121.
- Dedehayir, O. and Steinert, M. (2016) The hype cycle model: A review and future directions. *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 108, pp. 28-41.
- EIMaraghy, H.; Schuh, G.; EIMaraghy, W.; Piller, F.; Schönsleben, P.; Tseng, M.; and Bernard, A. (2013) Product variety management. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 62, pp. 629-652.
- Johansson, P.E.C.; Malmsköld, L.; Fast-Berglund, Å.; and Moestam, L. (2019) Challenges of handling assembly information in global manufacturing companies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 31, no. 5, pp. 995-976.
- Koren, Y. and Shpitalni, M. (2010) Design of reconfigurable manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 29, pp. 130-141.
- Kuipers, N.; Kolbeinsson, and Thorvald, P. (2021) Appropriate Assembly Instruction Modes: Factors to Consider. In: Sharfik, M. and Case, K. (eds.) *Advances in Manufacturing Technology XXXIV*, pp. 27-32. IOS Press.
- Lasi, H.; Fettke, P.; Kemper, H.-G.; Feld, T.; and Hoffman, M. (2014) Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, vol. 6, no. 4, pp. 239-242.
- van Lente, H.; Spitters, C.; and Peine, A. (2013) Comparing technological hype cycles: Towards a theory. *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 80, pp. 1615-1628.
- Li, D. (2021) *Digitalization as Facilitator of Effective Information Sharing in Production Systems*. PhD thesis, Chalmers University of Technology.
- Machado, C.G.; Winroth, M.; Carlsson, D.; Almström, P.; Centerholt, V.; and Hallin, M. (2019) Industry 4.0 readiness in manufacturing companies: challenges and enablers towards increased digitalization. *Procedia CIRP*, vol. 81, pp. 1113-1118.
- Oesterreich, T.D. and Teuteberg, F. (2016) Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0. *Computers in Industry*, vol. 83, no. C, 121-139.
- Palmqvist, A. and Vikingsson, E. (2019) *Digitalisation of Work Instructions, Coaching and Quality Follow-Up*. MSc thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg.
- Palmqvist, A.; Vikingsson, E.; Li, D.; Fast-Berglund, Å.; and Lund, N. (2020) Concepts for Digitalisation of Assembly Instructions for Short Takt Times. *Procedia CIRP*, in production.
- Romero, D.; Stahre, J.; and Taisch, M. (2020) The Operator 4.0: Towards socially sustainable factories of the future. *Computers & Industrial Engineering*, vol. 139, article 106128.
- Schumacher, A.; Erol, S.; and Sihm, W. (2016) A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, vol. 52, pp. 161-166.
- Stentoft, J.; Wickstrøm Jensen, K.; Philipsen, K.; and Haug, A. (2019) Drivers and Barriers for Industry 4.0 Readiness and Practice: A SME Perspective with Empirical Evidence. *Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 5155-5164, Maui, Hawaii.