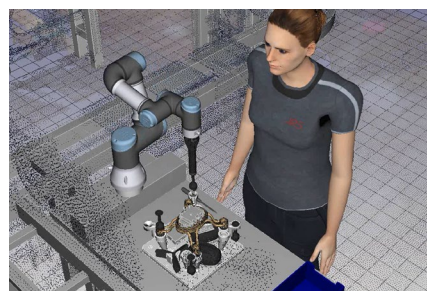
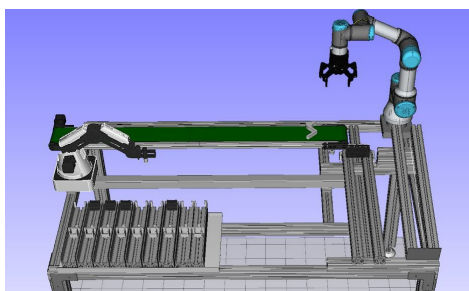
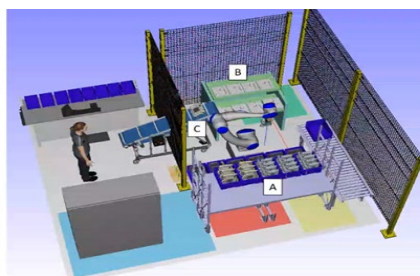
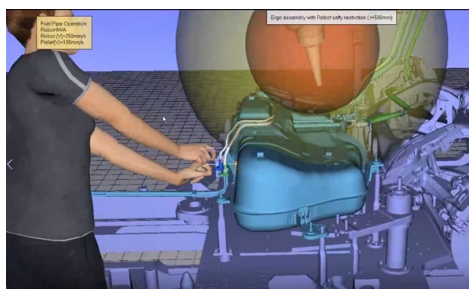


Digitalisation of Product- and Production design to increase Automation

DIPPA



Författare: Åsa Fast-Berglund
Datum: 2021-10-26
Projekt inom Hållbar produktion (FFI)

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary in English.....	3
3 Bakgrund.....	3
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	5
5 Mål	5
6 Resultat och måluppfyllelse	6
7 Spridning och publicering	14
7.1 Kunskaps- och resultatspridning.....	14
7.2 Publikationer.....	14
8 Slutsatser och fortsatt forskning	14
9 Deltagande parter och kontaktpersoner	15
10 Referenser	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

Kollaborativa applikationer är ett komplext område, trots ökning av robotisering de senaste åren så har dessa applikationer inte implementerats i stor utsträckning. DIPPA ville därför titta på detta ur två perspektiv. Dels genom att se hur industrin jobbar med digitala verktyg inom produktutveckling, dels inom produktionsutveckling för att kunna implementera kollaborativa applikationer. Målet var att visa att genom att visualisera lösningar från produktionsutveckling kunna driva projekt inom produktutveckling och logistik för att öka de kollaborativa applikationerna i industrin. Fyra fall togs fram, tre inom industrin och ett i labbmiljö. Alla case har utförts trots covid och i alla case har robotar designade för kollaborativa applikationer använts. De olika nivåerna inom kollaborativa applikationer har även diskuterats, testats och utvärderats. Mjukvara från IPS har använts i alla fyra fallen för att visa nu och nyläge i de industriella casen.

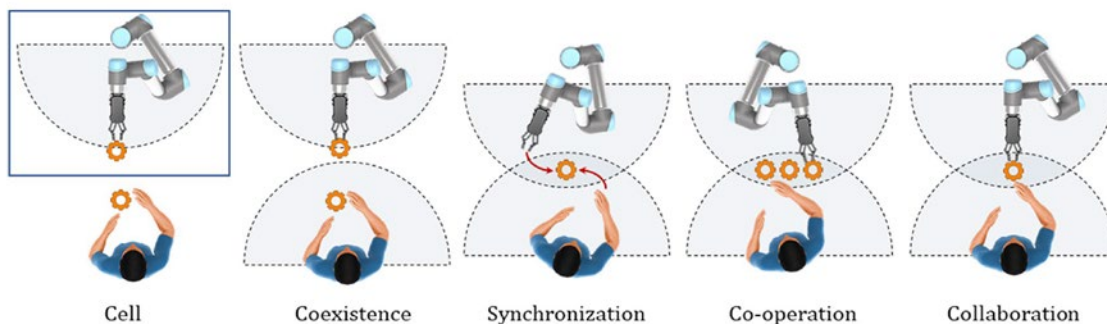
2 Executive summary in English

Collaborative applications are a complex area, despite the increase in robotics in recent years, these applications have not been implemented to a large extent. DIPPA therefore wanted to look at this from two perspectives. Partly by seeing how the industry works with digital tools in product development, partly in production development to be able to implement collaborative applications. The goal was to show that by visualizing solutions from production development, they can drive projects in product development and logistics to increase the collaborative applications in the industry. Four cases were developed, three in industry and one in a lab environment. All cases have been performed despite covid and in all cases robots designed for collaborative applications have been used. The different levels in collaborative applications have also been discussed, tested and evaluated. Software from IPS has been used in all four cases to show the current and new situation in the industrial cases. The goal of the project was to show increased flexibility, improved ergonomics for operators, increased collaboration between product development and production and a faster lead time between design and implementation of collaborative applications. This has been fulfilled in the projects divided into the four cases that have been involved

3 Bakgrund

Marknaden för robotar växer och antalet industrirobotar spås öka med 10–15 procent under kommande år. Trots bra förutsättningar för automation så ökar inte antalet installationer av kollaborativa robotar applikationer i lika hög takt, dessa installationer ligger runt 5 procent av den totala robotinstallationen. Priset är generellt sett billigare än traditionella industrirobotar och flexibiliteten i dessa applikationer borde vara attraktivt för svensk industri.

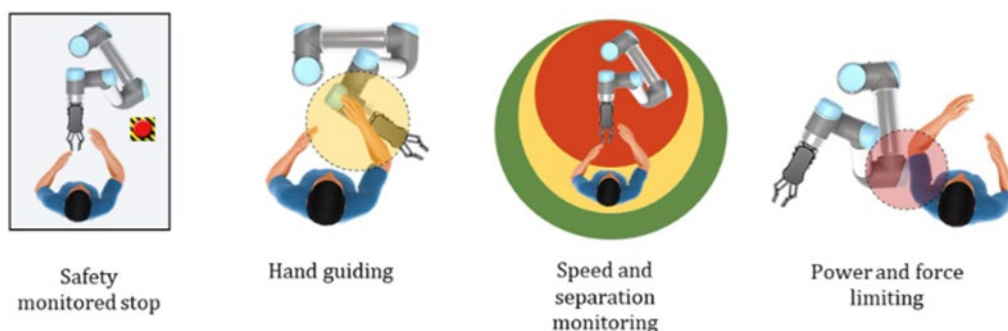
Generellt brukar kollaborativa applikationer delas in i fyra olika grader av samarbete, se figur 1. För att kunna implementera dessa lösningar krävs analys och evaluering av både teknik, säkerhet och arbetsmiljö.



Figur 1 Olika grader av samarbete mellan människa och robot (ali et. al 2019)

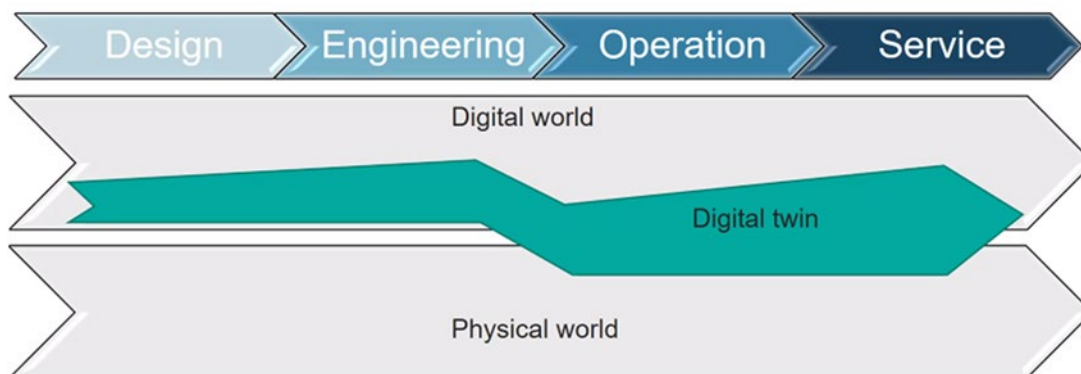
Resultat från workshops med drygt 60 företag visar att de tre utmaningarna som finns inom industrin för att implementera kollaborativa applikationer är:

- Brist på enkla metoder för säkra designen av kollaborativa robotceller
- Brist på kunskap inom interaktion mellan robot, människa, maskiner och IT-system
- Produkten är inte designad för automatisk montering



Figur 2 Säkerhetsaspekter som behöver analyseras enligt ISO/TS 15066:2016

Implementationen av robotar designade för kollaborativa applikationer implementeras dock inom svensk industri men enkla och visuella testmetoder för både produkt och produktionsutveckling saknas idag. En digital plattform där produktdesigner, beredare, produktionstekniker och operatörer kan samarbeta och titta på olika lösningsförslag hade underlättat både förståelsen och utmaningen med kollaborativa applikationer, illustration i figur 2. Vidare hade denna erfarenhet även bidragit till bättre beställarkompetens hos företagen när de pratar med robotintegratörer.



Figur 3 Hur en digital tvilling skulle kunna användas mellan avdelningar

Det finns en hel del mjukvaror på marknaden idag för simulering och visualisering men dessa är antingen produktspecifika eller för komplexa för att använda som visualiseringsverktyg.

DIPPA skulle därför vilja ha en ökad interaktion mellan produktdesign och produktionsdesign för att öka möjligheten för automation i slutmonteringen. Den ökade interaktionen kommer bidra till ökad kvalitet och minskade ergonomirelaterade skador. För att en minskning av komplexitet skall kunna på ett effektivt sätt behövs interaktion mellan produktutvecklaren och produktionsutvecklaren fallstudier hos bland annat Rover visar även att metoden hjälper att öka teamwork. För att en interaktion mellan avdelningar skall vara möjligt krävs inte bara effektiva metoder utan även effektiva verktyg. Ett första steg när en produkt eller ett fabriksavsnitt skall designas kan vara simulering och visualisering.

Virtual Reality (VR) möjliggör att detta kan göras även om inte produkten eller fabriken existerar. Resultat från Forskningsprojektet GAIS 2 visar att VR och till viss mån MR används med fördel när produkten eller produktion är i designfasen medan AR används för att förstärka en verklighet som redan finns, detta kan då göras i en upplärningsfas eller för till exempel underhåll eller kvalitetskontroller.

Forskningsprojektet Virtual Verification of Human-Robot Collaboration utvecklade ett simuleringsverktyg som underlättar effektiv och giltig simulering av HRC. Det digitala mänskliga modelleringsverktyget IPS IMMA slogs samman med robotdelen av IPS-HRC, mjukvaran i ett gränssnitt som möjliggör simulering i en 3D CAD-miljö. Programvaran tar hänsyn till både ergonomiska belastningar och drifttid för att designa det mest lämpliga produktionssystemet.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Projektets övergripande syfte var att öka kunskapen mellan produkt och produktionsutveckling för en ökad automation i slutmonteringen. Projektet ville därför applicera metoder för både produktutveckling (DFAA) och produktionsutveckling med fokus på en ökad automation. Fyra demonstratorer har byggts upp i den virtuella världen där nu- och nyläge har analyserats. Efter detta kommer fysiska demonstratorer med ny design byggas och valideras. Förhoppningen är att detta arbetssätt även kan paketeras på ett enkelt sätt så att det når ut till fler företag. Baserat på bakgrunden och industrifallen ville projektet fokusera på tre forskningsfrågor;

1. Vilken typ av metodutveckling är nödvändig för att öka automationen inom slutmontering?
Här kommer metoder som DFAA undersökas samt vilken typ av metod eller standard som finns idag när man designar produkt och produktionssystem.
2. Hur skall denna metod implementeras i mjukvara och i organisationen?
Projektet kommer använda mjukvaran IPS för att validera och visualisera produktionsdesignen och metoden.
3. Vilka effekter får denna metodimplementering på företagens valda förbättringsfaktorer?
De valda faktorerna som kommer användas i projektet är; ergonomi, resursflexibilitet, omställning (både produkt och resurs), industri 4.0 mognad, användarvänlighet (av mjukvara och metod), tid från design till produktion.

5 Mål

Målet med projektet var att visa på ökade flexibilitet, förbättrad ergonomi för operatörer ett ökat samarbete mellan produktutveckling och produktion samt en snabbare ledtid mellan design och implementering av kollaborativa applikationer. Detta har uppfyllts i projekten fördelat på de fyra casen som varit med.

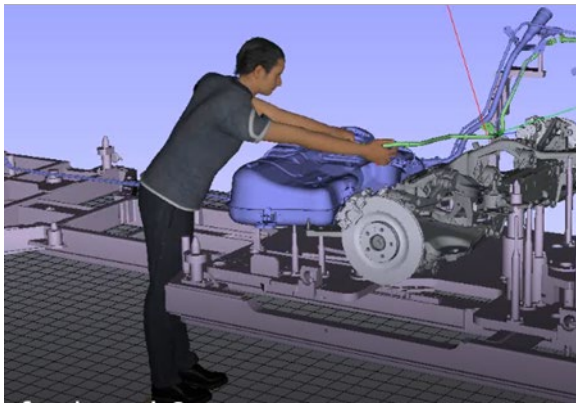
6 Resultat och måluppfyllelse

Nedan följer en sammanfattning från respektive demonstrator

6.1 Volvo Cars

Casebeskrivning

Som case för projektet DIPPA valdes att studera hur man kan använda kollaborativa robotar för att montera flexibla komponenter så som slangar, kablage etc på en rörlig monteringsbana. I detta case valdes en bränsleslang som skall anslutas till bränsletanken på ett ställe som är oergonomiskt för en operatör, se bild nedan. Kopplat till detta case studerades också vilka aspekter på produktdesignen som är viktiga för att möjliggöra automatisk montering, hur gripdon bör utformas samt hur simuleringar kan användas för tidig verifiering av monteringen.



3D vision

Som ett första steg för att kunna ansluta slangen, som placeras ut av operatör godtyckligt inom ett område, så behöver slangen lokaliserars. För detta gjordes tester både i SII lab och i VCCs testmiljöer. I VCCs test användes en FANUC CRX-10i samt en 3D vision kamera av modell +Rvision. Testerna gjordes med DUPLO-klossar, där klossar placerades ut godtyckligt och plockades sedan upp med hjälp av ett verktyg med en annan DUPLO-kloss monterad, se bild nedan. Testerna gjordes med lyckat resultat, men det uppmärksammades att reflexer och färgkontraster är en kritisk parameter för att vision-systemet skulle fungera tillförlitligt.

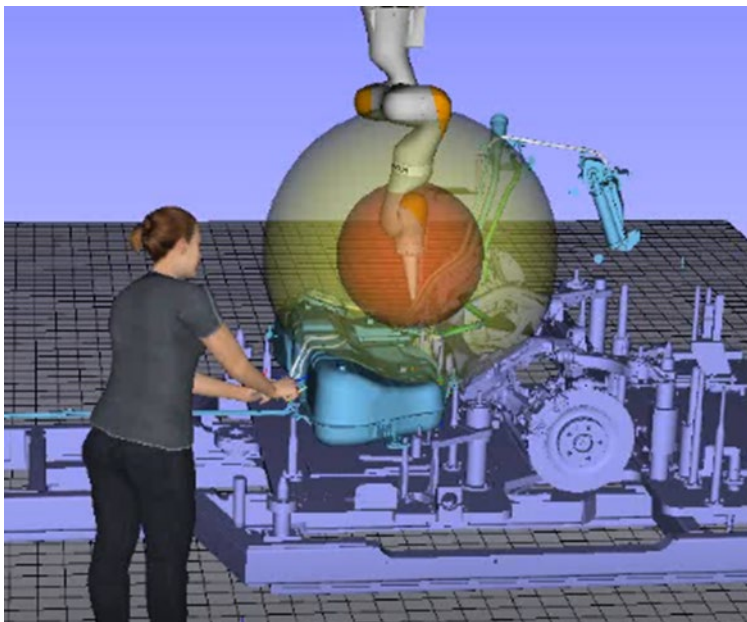
I testerna på SII lab användes den verkliga bränsleslangen samt bränsletanken som testobjekt. En IWA7 robot från Kuka samt Swift-E 3D sensor från Rockwell automation användes och även här visade det sig att färgkombinationen mellan arbetsobjekt och bakgrund är kritisk för att kunna identifiera objektet.



Virtuell simulering

Simuleringar gjordes för att se hur en kollaborativ robot skulle kunna göra anslutningen av bränsleslangen samtidigt som operatörer jobbar med andra jobb i närheten. Säkerhetszonen visualiserades med en sfär enligt bild nedan.

Ett problem som upplevdes med simulering i IPS är att det inte går att göra ergonomisimulering med rörligt objekt (rörlig monteringsbana) på ett enkelt sätt, utan mycket handpåläggning krävs för att få fram en människa-robotsimulering. Det blir dessutom då snarare en visualisering än en simulering. Programvaran som använts bygger på en äldre version av IPS, vilket inte varit optimalt.



DFAA

På bränsleslangen fanns en plugg som var tvungen att tas bort innan slangen kunde monteras. Detta identifierades som en icke monteringsvänlig lösning för automation. En möjlighet som diskuterades var om en skyddsfilm kunde användas som sedan löses upp vid anslutning/användande av produkten.

En annan aspekt som identifierades var att kontrasten mellan bakgrund och bränsleslangen som skulle identifieras av visionsystemet inte var optimalt.

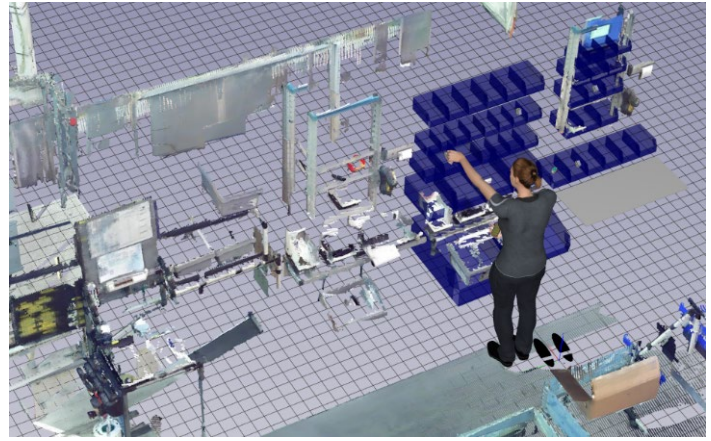
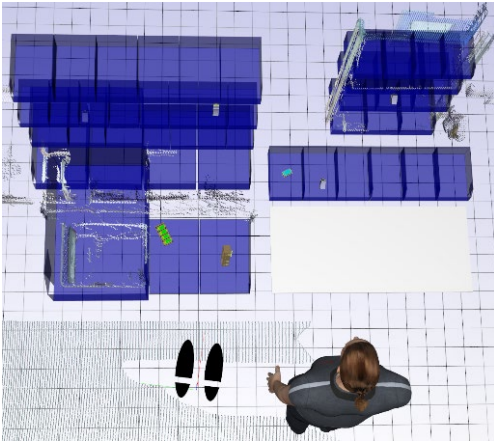
Avståndet mellan de två slangar som skulle monteras borde vara mer robust och fixeras till ett fast C-C mått. Detta skulle göra det enklare för roboten att montera båda slangar samtidigt. För att säkerställa att anslutningar av slangarna har skett korrekt behöver man tänka på hur en robot kan få kvittens på att koppling skett korrekt, t.ex. via kraftkurva, ljudupptagning eller liknande.



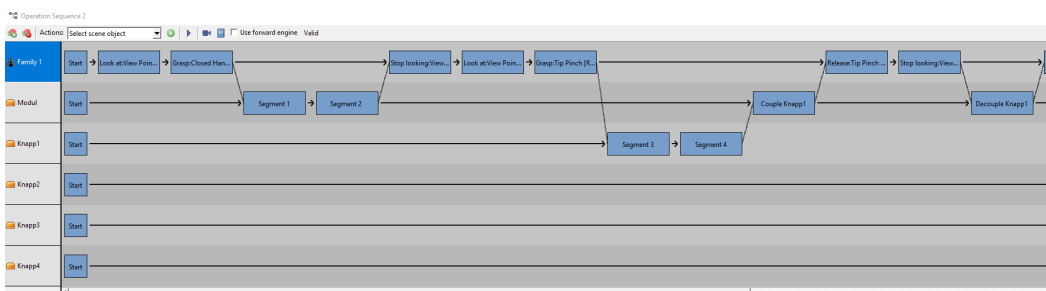
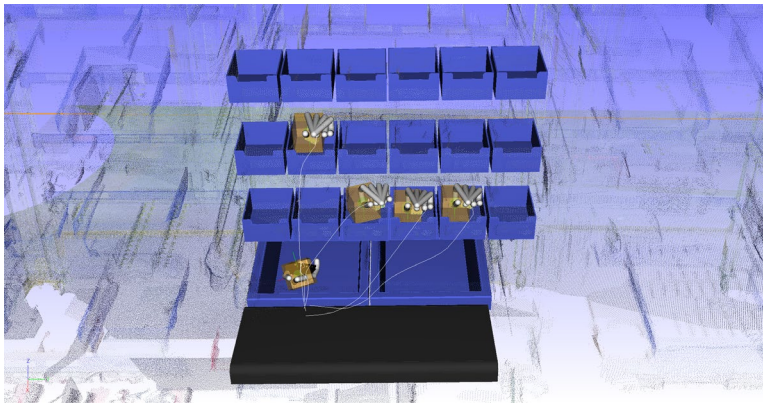
6.2 Volvo Trucks

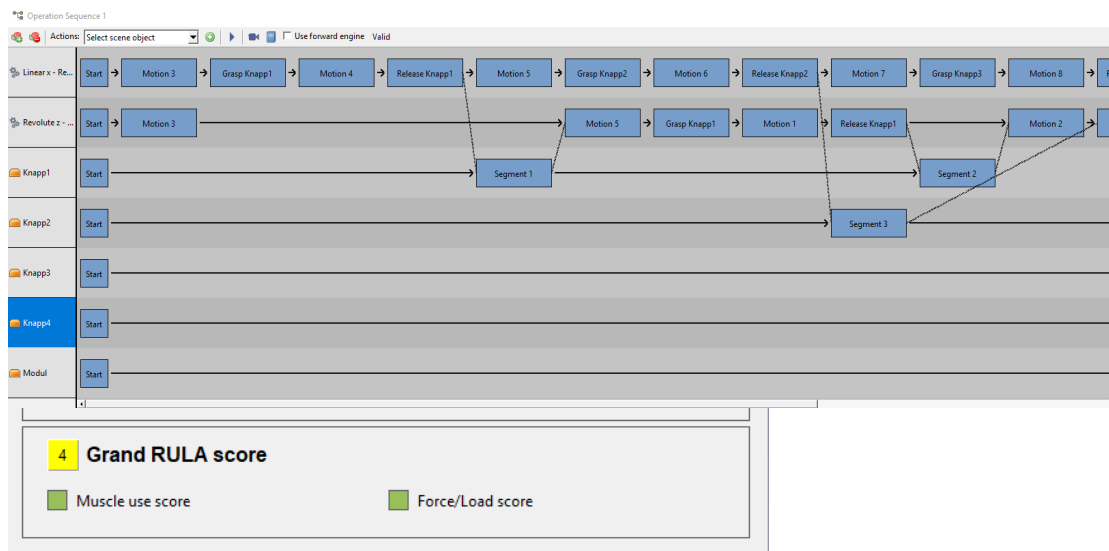
Under arbetspaket 1 skapades en nulägesanalys av befintlig station. Dagens station är en förmonteringsstation för att få bort komplexiteten av ett taktat flöde på huvudmonteringslinan. Volvo har ett mål att flytta ut variantkomplexiteten vi har i våra produkter ut från huvudflödet. Operatören på balansen gör mer än bara denna montering, vilket skapade ett sämre business case. Här ser vi att en större scope där man eventuellt kan ombalansera så HRC kan utnyttjas. Dagens station har svåra ergonomiska påkänningar då knapparna trycks i plats.



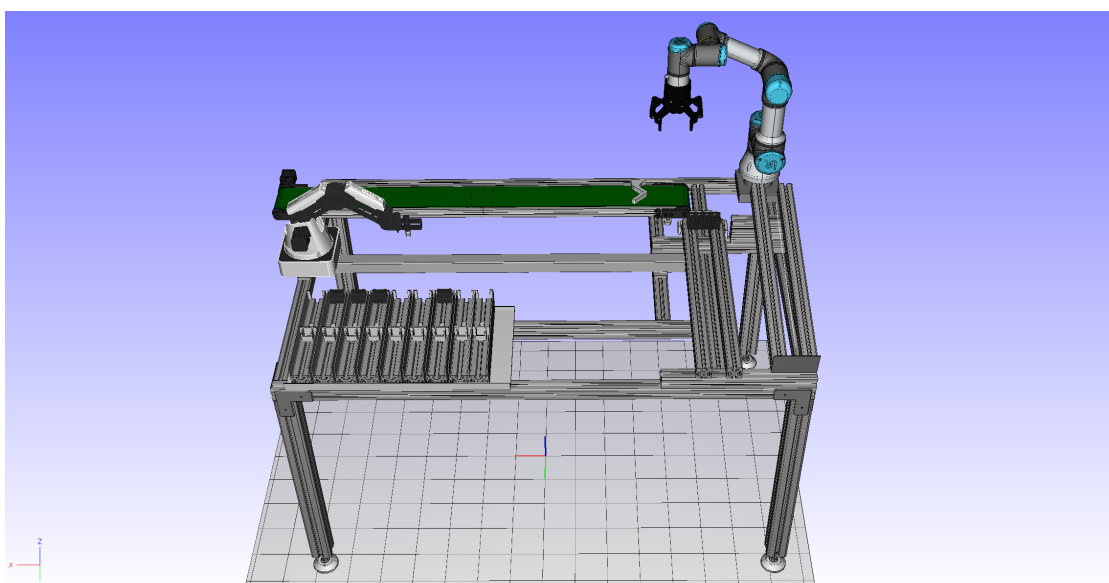


I Arbetspaket 2 användes simuleringssekvensen användes för att göra en ergonomisk utvärdering. Kriterierna att monteringen utförs färre än fyra gånger per minut och med en lägre vikt än två kilo (för objekten) inkluderades. Simuleringsmodellen speglar verkligheten, det vill säga den fysiska monteringen, både visuellt och fysiskt.





I arbetspaket 3 togs en virtuell simulering av stationen fram ihop med två studenter hos SII-lab på Chalmers. Enligt simuleringsmodellen är tidsåtgången för montaget 15 sekunder, vilket är 5 sekunder snabbare än för den manuella monteringen. fördelarna med att simulera är att det går att undersöka flera scenarier, vilket inte hade varit möjligt med fysiska modeller. Det går även att genomföra tester med befintliga robotceller i simuleringar, vilket annars hade krävt ett produktionsstopp.



6.3 Arbetspaket 4

I arbetspaket 4 togs en fysisk modell av stationen fram ihop med två studenter hos SII-lab på Chalmers. Den automatiserade stationen är ca 1,5 m² och kräver ca 3 m² till med förvaring. Det är 6,5 m² mindre än vad den manuella monteringen upptar idag. En skalering av stationen ger en fördelaktig kostnad per monterad knapp vid att öka utnyttjandegraden på roboten.

I arbetet tillämpas robotar av märkena Dobot magician och UR3, som ej är klassade som kollaborativa robotapplikationer. Robotarna måste därmed avskärmas med fysiskt hinder eller endast brukas med sänkt hastighet för att människor inte ska skadas, om de används inom industrin som kollaborativa robotapplikationer. Här krävs en större riskanalys som i alla automationsprojekt.

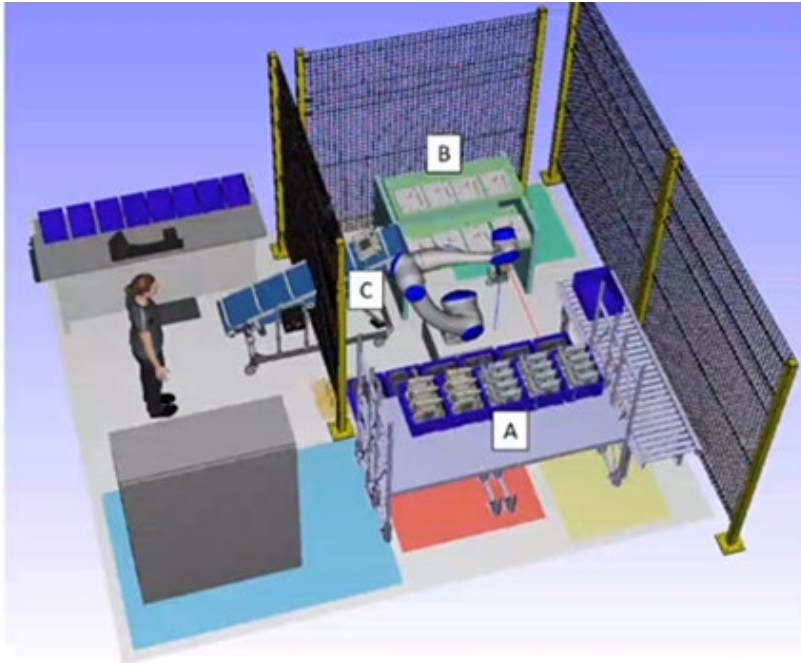


6.4 Scania

Scania has worked with the ECU programming station in the DIPPA project. The handling and programming of the ECUs are today a fully manual process that could be automated to increase productivity, quality and let the human do the more value adding preassembly of the ECU.



In work package 1 a current state analysis was done, but no product changes were suggested for this product. A virtual visualization of the robot cell was done in the IPS software to understand the layout and size of the cell needed to fulfill the safety regulations.



In work package 4 a physical demonstrator of the proposed automatic ECU programming station within our Smart Factory Lab facilities within Scania. It was installed during the spring of 2021 and is now up and running. It is now demonstrated to the potential customer within Scania and its discussed if and if so how it should be implemented in our production facilities.

The solution include a Yaskawa HC20 robot with traditional fences on three of the side. But with a slightly more open and accessible 4th wall where the material are supplied into the cell. And here is there a risk of a collision between the robot and a human, a HRC area. And the power and force function of the Yaskawa HC20 robot are required to make the system safe. were tested at the Scania lab.

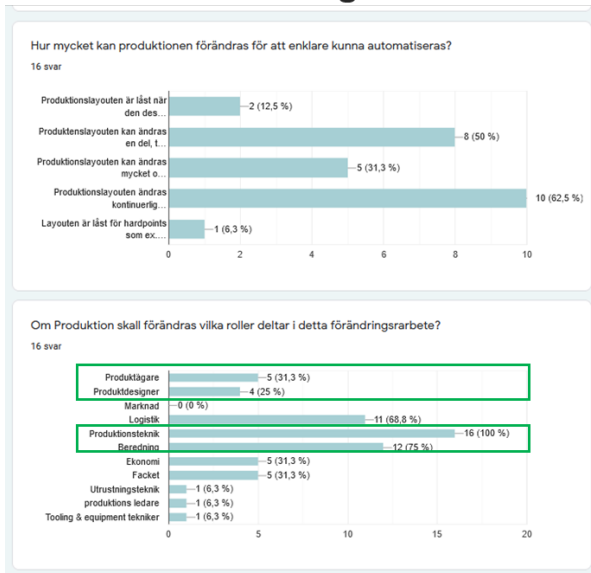
Scania has also been active in settling the demands on the future development of the IPS-HRC software development. And also evaluated the IPS demonstrator developed in the project.



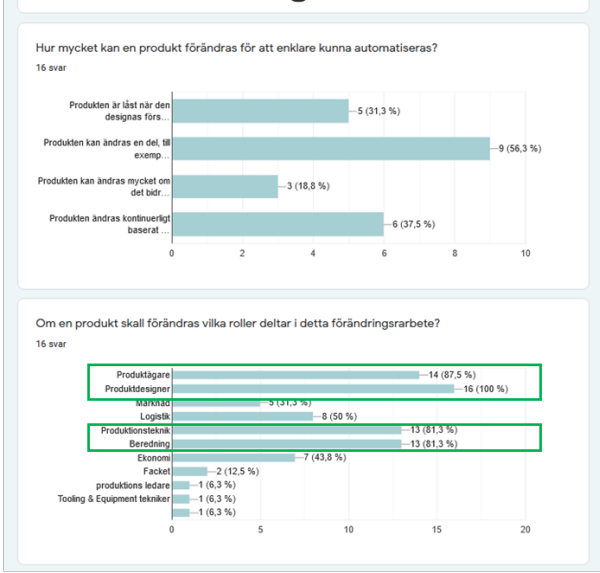
6.5 Chalmers

En enkät skickades ut för att förstå hur produktutveckling och produktionsutveckling arbetar digitalt och hur produkt respektive produktion arbetar med förändringar för ökad automation. Av de 14 som svarade på enkäten arbetar 80 procent med någon typ av mjukvara i sitt arbete idag, om man jobbar med flera mjukvaror säger hälften att dessa mjukvaror saknar koppling till varandra.

Produktionsdesign

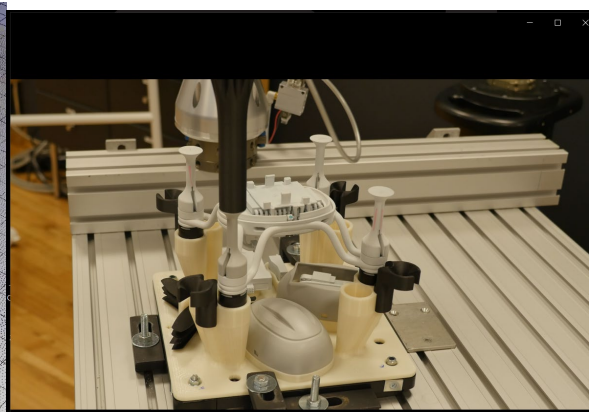
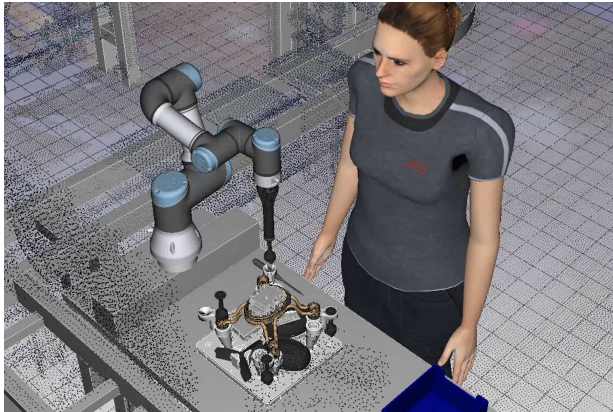


Produktdesign



Chalmers har även varit del av Volvo Trucks och Volvo Cars fysiska demonstratorer då de använt SII Lab som lab för detta.

Chalmers har även utvecklat sin drönarfabrik inom ramen för projektet, både produkt och produktionsutveckling har skett, både digitalt och fysiskt. Delar av detta finns i de publicerade artiklarna i avsnitt 7.



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	Erfarenhet om projektet har presenterats på konferenser och inom teknik work shops för ökad spridning utanför projektparterna
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt		
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt		
Introduceras på marknaden		
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut	X	Vissa erfarenheter har använts som input till revidering av ISO standard inom kollaborativa applikationer

Finns kopplingar till andra interna/externa projekt som kan påskynda introduktion eller ge större genomslag?

7.2 Publikationer

Examensarbete

- Resultat av simulering av Volvo Trucks demonstrator [1]
- Resultat av uppbyggnad av fysisk demonstrator för Volvo Trucks Demonstrator [2] [3]

Licentiatrapport

- Ökad flexibilitet genom användning av I4.0 teknologier [4]

Vetenskapliga artiklar

- Ökad flexibilitet genom användning av kollaborativa applikationer [5]
- Low-cost automation, resultat från examensarbetena [6]
- Delar av konceptet kring drönarfabriken [7]
- Gripdon för robotapplikationer [8]

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Genom DIPPA har flera frågor och användningsområden kommit upp som kommer förhoppningsvis utvecklas vidare under DIPPA 2.

Om en riskanalys kan göras tidigt i utvecklingsfasen så kommer företagen spara tid, pengar och även bygga förtroende bland användarna. DIPPA 2 kommer fortsatt fokusera på utvecklingen av mjukvaran mot en operatörscentrerad visualisering av kollaborativa stationer samt att fortsätta demonstrera ännu tydligare strategier för val av kollaborativa applikationer. Projektet kommer även försöka demonstrera olika nivåer av kollaboration.

Projektet skulle gärna även fokusera på enklare och mer pålitliga metoder för säkerhetsverifiering kring kollaborativa robotceller. Arbete inom detta på ISO nivå sker just nu vilket projektet även kommer följa.

Om detta kan göras via mjukvaran för en första riskanalys när förslag till cellen modelleras hade detta sparat tid. Även en mer noggrann uppgiftsallokering skulle kunna synas i mjukvaran som hjälp för beredare och produktionstekniker i utformning av cellen.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

CHALMERS: Åsa Fast-Berglund och Omkar Salunkhe

SCANIA: Fredrik Ore

Volvo Group Trucks: Jonas Fuglås

Volvo Cars: Daniel Ekström och Viktor Fredriksson

IPS: Peter Mårdberg och Domenico Spensieri

JU: Kerstin Johansen

RISE: Sten Gran

10 Referenser

- [1] F. Falk and D. Tegenmark, "Simulering och visualisering av manuell och automatiserad montering," Bachelor IMS, Chalmers, 2020. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12380/300870>
- [2] O. Groth and V. Bengtsson, "Montering med Dobots," Bachelor, IMS, Chalmers University, 2019. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12380/257137>
- [3] F. Hille-Dahl and J. Semmingsson, "Automatiserad knappmonteringsstation," Bachelor, ims, Chalmers, 2020. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12380/300849>
- [4] O. Salunkhe, "Towards Increasing Operational Flexibility in Final Assembly using Industry 4.0 Enabling Technologies," Licentiate, IMS, Chalmers, 2021. [Online]. Available: <https://research.chalmers.se/publication/522081>
- [5] O. Salunkhe and F.-B. Å, "Increasing operational flexibility using Industry 4.0 enabling technologies in final assembly," in *2020 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, 15-17 June 2020 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICE/ITMC49519.2020.9198630.
- [6] Å. Fast-Berglund, O. Salunkhe, and M. Åkerman, "Low-cost Automation – changing the traditional view on automation strategies using collaborative applications," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 53, no. 2, pp. 10285-10290, 2020/01/01/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.2762>.
- [7] Å. Fast-Berglund, M. Åkerman, D. Li, and O. Salunkhe, "Conceptualising Assembly 4.0 through the drone factory," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 13, pp. 1525-1530, 2019/01/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.416>.
- [8] O. Salunkhe, P. Fager, and Å. Fast-Berglund, "Framework for Identifying Gripper Requirements for Collaborative Robot Applications in Manufacturing," Cham, 2020: Springer International Publishing, in *Advances in Production Management Systems. The Path to Digital Transformation and Innovation of Production Management Systems*, pp. 655-662.