



CHALMERS

Visualisering och simulering av SII-labbets drönarfabrik i IPS

En visualisering samt ergonomisk undersökning i virtuell miljö av drönarlinjens monteringsmoment.

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

MEDINA SALIHOVIC

FELIX NILSSON

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2024
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE IMSX20

Visualisering och simulering av SII-labbets drönarfabrik i IPS

En visualisering samt ergonomisk undersökning i virtuell miljö av drönarlinjens monteringsmoment

MEDINA SALIHOVIC

FELIX NILSSON

Institutionen för Industri- och Materialvetenskap

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2024

Förord

Detta arbete är en del av programmet högskoleingenjör inom maskinteknik som genomförts på vårterminen 2024. Projektet har varit en lärorik och intressant arbetsprocess att få vara del av. Vi vill först tacka Björn Johansson som har varit examinator och bedömt detta arbete. Ett stort tack till Henrik Söderlund som har varit handledare för detta arbete och varit till stort stöd för oss under arbetsgången. Även ett stort tack till Sven Ekered som har hjälpt oss med CAD filerna och Peter Mårdberg för utbildning om IPS.

Till sist vill vi tacka alla personal i SII-labbet och andra exjobbare som har varit där och skapat en trevlig miljö att arbeta i.

Sammanfattning

Innehållet av det utförda examensarbetet består av en praktisk del i form av en simuleringsmodell, och en teoretisk del med fokus på jämförelse mellan VR miljö och verklig miljö med större inriktning mot ergonomiska aspekter.

Projektet består av en virtuell simulering baserat på en monteringslinje för en drönare. Baserat på linjen som befinner sig i Stena Industry Innovation Lab på Chalmers campus, Lindholmen. Projektet är utförd i mjukvaran Industrial Path Solutions. Simuleringen avbildar monteringsprocessen av alla drönarkomponenter på 5 olika arbetsstationer. Slutresultatet blev en simulering med stöd av VR. Här har verktyg som pointcloud och CAD filer använts ihop för att avbilda den verkliga miljön. CAD filer för drönaren samt pointcloud av SII-labbet var försedda, eller skapade för projektets framgång.

En undersökning av ergonomi genomfördes på en av monteringslinjens arbetsstationer, i syfte av att undersöka skillnader mellan simulerad och verklig miljö. I detta moment framställdes ett ergonomitest med hjälp av RULA samt IPS egna mjukvara. 5 deltagare fick testa montera drönaren i två olika miljöer, inom VR i IPS och på verklig arbetsbänk. På rörelserna sedda under monteringen utfördes en RULA utvärdering. Deltagarna fick även besvara frågor i en enkät-studie med öppen diskussion liknande en intervju. Resultatet visade variationer genom att RULA poängen visade en trend mot högre poäng i Virtual Reality miljö. Vilket indikerar att bättre förutsättningar i VR hade varit önskvärt.

Ytterligare undersökning har genomförts med syfte av att ta reda på hur företagen idag använder VR och vilka fördelar eller svårigheter som medföljer. Till detta moment har intervjuer och litteraturstudier varit använda metoder. Företagen som Volvo Cars och Virtual Manufacturing Sweden AB har deltagit i intervjuerna och gett en god inblick på hur bland annat VR kan hjälpa med ingenjörbeslut samt användningsområden. Baserat på dessa källor bidrar denna rapport med att ge god insikt på hur VR kan användas som ett ingenjörswerktyg. Däremot visar vår rapport även att det finns plats för förbättring för att uppnå tillförlitlig realism i ergonomistudier, då vi såg ett varierande resultat mellan den fysiska och virtuella miljön.

Abstract

The content of the completed degree work consists of a practical part in the form of a simulation model, and a theoretical part with a focus on comparison between the VR environment and the real one with greater focus on ergonomic aspects.

The project consists of a virtual simulation of an assembly line for a drone. Based on the line located in the Stena Industry Innovation Lab on the Chalmers campus, Lindholmen. The project is carried out in the Industrial Path Solutions software. The simulation depicts the assembly process of all drone components at 5 different workstations. The end result was a simulation supported by VR. Here, tools such as pointcloud and CAD files have been used together to depict the real environment. CAD files for the drone as well as the point cloud by the SII-lab were provided, or created for the success of the project.

An ergonomics study was conducted at one of the assembly line workstations, with the aim of investigating differences between the simulated and real environment. In this phase, an ergonomics test was prepared using RULA assessment and IPS's software. 5 participants got to test assemble the drone in two different environments, VR in IPS and on a real workstation. A RULA evaluation was performed on the movements seen during assembly. The participants also recieved questions in a questionnaire study with open discussion similar to an interview. The result showed variations in that the RULA score showed a trend towards higher scores in the Virtual Reality environment. Which indicates that better conditions in VR would have been desirable.

Further research has been carried out with the aim of finding out how companies today use VR and what advantages or difficulties come with it. For this part, interviews and literature studies have been used methods. Companies such as Volvo Cars and Virtual Manufacturing Sweden AB have participated in the interviews and provided a good insight into how, among other things, VR can help with engineering decisions and areas of use. Based on these sources, this report contributes to providing good insight into how VR can be used as an engineering tool. However, our report also shows that there is room for improvement to achieve reliable realism in ergonomic studies, as we saw a varying result between the physical and virtual environment.

Ordlista

VR-Virtual reality

IPS-Industrial Path Solutions

SII-Lab-Stena Industry Innovation Lab

RULA-Rapid Upper Limb Assessment

HMD-Head mounted display

FCC-Fraunhofer-Chalmers Center

Innehållsförteckning

1. Introduktion	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Frågeställning	2
2. Teoretisk Bakgrund	3
2.1 VR	3
2.1.1 Hur används VR i produktionen	3
2.2 Drönarfabriken	5
2.3 Industrial Path Solutions (IPS) – Beskrivning av mjukvara	8
2.3.1 Funktioner i IPS	9
2.3.2 Mannekäng	9
2.3.3 IMMA (Ergonomi) i IPS	11
2.4 RULA	13
2.5 Point Cloud	14
3. Metod	15
3.1 Litteraturstudier	15
3.2 Intervjustudier	15
3.3 Simulering av drönarfabriken	16
3.3.1 Utbildning i IPS	16
3.3.2 Point cloud och Cad filer	16
3.3.3 Simuleringsmodell av drönarfabriken i IPS	16
3.4 Användarstudier	17
3.4.1 RULA-studie	17
4. Resultat	19
4.1 Resultat intervjustudie	19
4.2 Simulering av drönarfabriken i IPS	20
4.2.1 Importering av point cloud och CAD filer	20
4.2.2 Simulering i IPS	20
4.3 Resultat användarstudie	21
4.3.1 Resultat RULA	22
4.3.2 Resultat Enkätstudien	23
5. Diskussion	24
5.1 Diskussion FS1	24

5.2 Diskussion FS2	25
5.2.1 Jämförelse Montering i IPS vs Verklighet	25
5.2.2 Jämförelse Ergonomi IPS, VR, Verklighet	28
5.2.3 Jämförelse av montering för drönaren	28
6. Slutsats	32
7. Källförteckning	34
Bilagor	36

1. Introduktion

Detta kapitel innehåller en beskrivning av projektet och syftet med utförandet av det utförda examensarbetet.

1.1 Bakgrund

Digitalisering har blivit en styrande del av produktion med införande av industri 4.0, nya verktyg som digital simulering och molnlösningar har implementerats i dagens fabriker [1]. Virtual Reality (VR) är en ny dimension som företag har börjat dra nytta av. Tekniken skapar möjligheten att visualisera produkter samt produktion på ett mer interaktivt sätt. VR kan även bidra till att pröva och studera lösningar i en virtuell miljö, som kan anses vara mer snabbare och billigare i längden jämfört med direkt utförande i verkligheten [2].

Stena Industry Innovation Lab (SII-lab), som finns belägen på Lindholmen och är en del av Chalmers, samarbetar idag väldigt mycket med näringslivet och bedriver forskning [3]. SII-labbet är uppdragsgivaren för detta projekt, där en verklig produktionslinje kommer simuleras i virtuella verkligheten.

Mitt i SII-labbet finns det en drönarfabrik där den främsta produktion är montering av drönare. Drönarfabriken är konstruerad så att den skall visa upp hela kedjan från design av produkten till leverans. Målet med drönarfabriken är att visa hur man kan öka digitalisering och även vilka metoder som skall tillämpas för industri 4.0. Drönarfabriken producerar två drönare där den första drönare 1.0 introducerades år 2018 och drönare 2.0 år 2020 [4].

I dagsläget saknar uppdragsgivaren en virtuell simuleringsmiljö av drönarfabriken som potentiellt kan användas för vidare forskning inom området industri 4.0. I detta examensarbete kommer en virtuell miljö av drönarfabriken att skapas i programvaran Industrial Path Solution (IPS) för att möjliggöra interaktion och visualisering genom VR.

1.2 Syfte

Syfte med detta projekt är att leverera en simulerad virtuell miljö av SII-labbets drönarfabrik på ett interaktivt och tydligt sätt. Även att undersöka om VR kan vara ett nyttigt verktyg i produktion, samt hur VR kan bidra till beslutstagande. Att ha en simulerad miljö kan fungera som ett stöd vid vidare utveckling av fabriken. För detta projekt kommer den simulerade miljön att hjälpa att undersöka skillnader eller likheter vid avseende på aspekter som ergonomi och användarupplevelse. Dessa aspekter kommer även att valideras genom att utföra ergonomitester, enkäter och intervjuer.

Genom att ha en simulerad virtuell miljö av drönarfabriken kan utvärdering av bland annat ergonomiska faktorer i drönarfabriken undersökas och därmed vara en grund för förbättringsunderlag för forskare som arbetar där. Förbättringsunderlag kan handla om ny layoutdesign vid konstruktion av en ny drönare, hur produktionen rör sig, ergonomiska faktorer o.s.v.

1.3 Avgränsningar

I detta projekt kommer endast arbete att utföras på SII-labbets drönarfabrik och inte på övriga projekt i SII-labbet. För självaste drönaren kommer bara simulering av drönaren 2.0 att simuleras. Simuleringsverktyget IPS kommer bara att användas och därmed inte ta hänsyn till andra simuleringsverktyg och hur de skiljer sig med varandra gällande resultat. Då arbetet genomförs på en begränsad tid kommer inte utvärdering av förbättringar att göras utan det kommer bara att möjligtvis förslås men inte utvärderas. Även antal företag som ska intervjuas kommer att begränsas till max två st på grund projektets omfattning.

Ergonomi aspekten kommer att utvärderas utifrån montörens synpunkt samt en detaljerad undersökning med verktyg inbyggd i IPS mjukvara och egna utförda RULA utvärderingar. Ergonomi undersökningen avgränsas till arbetsbänk 2 och dess involverade monteringsmoment.

1.4 Frågeställning

Det som kommer att undersökas och besvaras under projektets gång skall ge en bättre förståelse kring hur VR används och hur verktyget i 3D miljön skiljer sig från den verkliga miljön. De frågor som kommer att undersökas i projektet är följande:

1. *Hur använder företag VR i deras produktion? Kan VR hjälpa ta ingenjörbeslut?*
2. *Hur skiljer sig den virtuella miljön mot verklig miljö i SII-labbet med avseende på aspekter som ergonomi och användarupplevelsen?*

2. Teoretisk Bakgrund

Denna del innehåller essentiell information om mjukvara och begrepp som används i projektet. Med syfte av att illustrera vilka verktyg och teori som har varit tillgängliga ledande till resultatet.

2.1 VR

Tekniken VR är en teknik som bygger på att det finns en uppbyggd virtuella miljö. Med denna miljö skapas en möjlighet för användaren att befinna sig i och integrera med den virtuella miljöns omgivning i form av att förflytta objekt. Genom den teknik skapas möjligheten för användaren att bli en del av den skapade virtuella miljön. Tekniken kan ge användaren möjlighet att uppleva olika sinnen som t.ex känsel, seendet och hörsel [5].

För att få möjlighet att kunna använda VR kan detta genomföras på olika sätt. En av metoderna som kallas för desktop som består av 3D grafik och datorskärm. Integreringen uppnås med att ge input via datorn. VR med desktop kategoriseras som icke uppslukande [6].

En annan metod för att kunna tillämpa VR är genom Head mounted display (HMD). Genom HMD kan synvinkeln anpassas. Anpassningen uppnås genom användarens huvudposition i förhållande mot avstånd och vinkel till sensorn. HMD fungerar genom att tekniken har input som är då sensorer som kan spåra huvudrörelsen. Tekniken har även output signaler som motsvara två grafiska displays. Denna metod med att använda VR med HMD kallas för uppslukande [6].

2.1.1 Hur används VR i produktionen

I dagens industrier blir VR allt mer uppmärksammade med vad det kan bidra till. Det bli välkänt för des potential att minska på kostnader och bidra till en teknisk utveckling. Några av dess tillämpningsområden där VR kan spela roll i är underhållsarbete, anläggnings planering för fabriker, träning för montören, utveckling av produkter o.s.v [7].

Företag idag måste ta hänsyn till allt från design av en produkt till hur det skall produceras ute i produktionen. Alla dessa aspekter gör att det kan finnas en risk med att fel kan uppkomma [8]. Ett av användningsområden där VR kan spela roll i är vid prototypbygge av en produkt. Att konstruera och testa en prototyp i verkligheten kan i många fall leda till höga kostnader. Genom att använda VR är det möjligt att minimera kostnaderna vid utvärdering av den potentiella produkten [8].

Även faror som oftast är vanligt förekommande ute i produktioner är också en aspekt som företag måste ha i åtanke [8]. Att använda VR skapar möjlighet för användare att pröva olika scenarion utan att ha någon direkt påverkan av den verkliga produktionen [8]. Att nå en säker arbetsplats kan uppnås med VR genom möjligheten att identifiera farliga arbetsuppgifter i den virtuella miljön och utifrån det försöka förebygga att det händer i verkligheten [8].

VR kan även användas för att träna upp montören att utföra arbetsuppgifter som oftast kanske kräver manualer för upplärning [8]. Att tillämpa VR vid träning sammanhang kan ge den effekt att minska på cykeltiden och framkalla en säkrare miljö [7].

Vid anläggnings planering av fabriker kan VR användas. Vid utveckling och utformning av en fabrik måste olika aspekter tas hänsyn till och dessa i sin tur kommer att ha någon form av påverkan av produktionen [9]. Under utformning och design av en anläggning kan aspekter som gångavstånd för anställda, ergonomi, säkerhet, anläggningens utseende o.s.v tas med vid utformning av en fabrik. Att ha en väl konstruerade anläggnings kan oftast leda till att kostnader i form av driftkostnader kan minska. Genom att använda sig VR finns det möjligheter att prova olika scenarion och se hur de utspelar sig i 3D miljön [9]. VR kan även inkludera personer som har och påverkas av anläggningens utformning genom att de får vara med i processen av att bestämma hur anläggningen skall se ut [9]. Även om VR kan vara ett hjälpmedel vid utformning av anläggning finns det vissa svårigheter och dessa är att det är en tidskrävande process som kan kräva hög noggrannhet för att kunna efterlikna företagets fabrik [9].

Tekniken VR kan användas för att säkerställa en mer ergonomisk arbetsplats inom tillverkningsindustrin. Vid utveckling av en arbetsplats kan det vara vissa standarder och direktiv som en ergonom skall ta hänsyn till. VR kan i många fall hjälpa till att analyser komplexa utformningar av prototyparbetsstationer. Utifrån detta kan VR vara en lösning när man försöker utforma en arbetsplats utifrån de krav som ställs [10]. Med en väl konstruerade arbetsstation minskas risken av att skador sker och att arbetaren kan på ett mer effektivt sätt utföra arbetsuppgifterna [10].

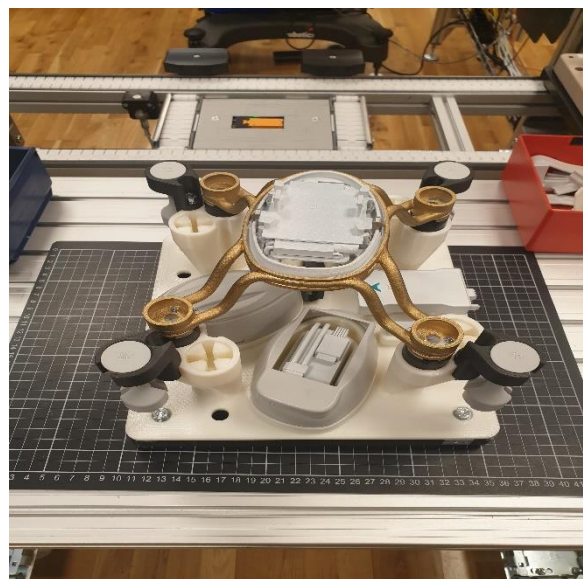
2.2 Drönarfabriken

Drönarfabriken finns beläggen mitt i SII-labbets lokaler, se figur 1. Drönarfabriken består av fem arbetsstationer, varav en av dessa är för tillfället ockuperad av en robotarm. Transportbandet som sammanhåller arbetsstationerna är ett Flexlink band som transporterar drönaren mellan de olika stationerna. Fabriken använder sig av Internet of things plattformen Thingworx som möjliggör att olika enheter kan kommunicera med varandra för att kunna driva fabriken. Nedan sammanfattas arbetsgången av drönarfabriken, berättat av Sven Ekered.



Figur 1, Bild på Drönarfabriken

Det första steget i fabriken är att drönarens lastpallet, där en drönare skall sitta, ska först kittas på logistikavdelningen. Här lägges drönarens ram och dess komponenter på platan, se figur 2.

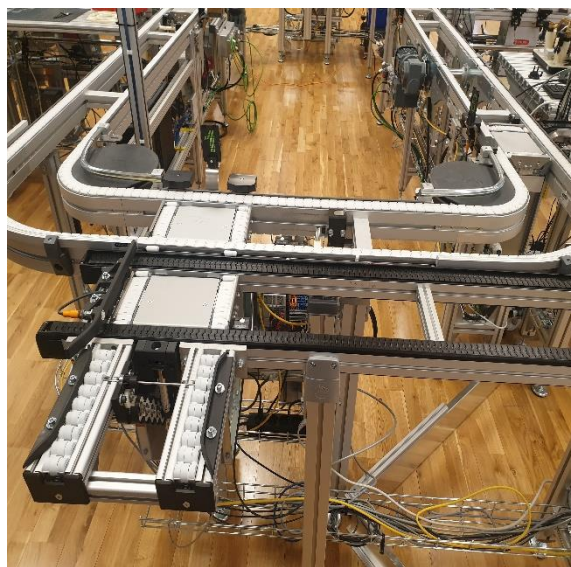


Figur 2, Bild på en drönare färdig kittad från logistikavdelningen

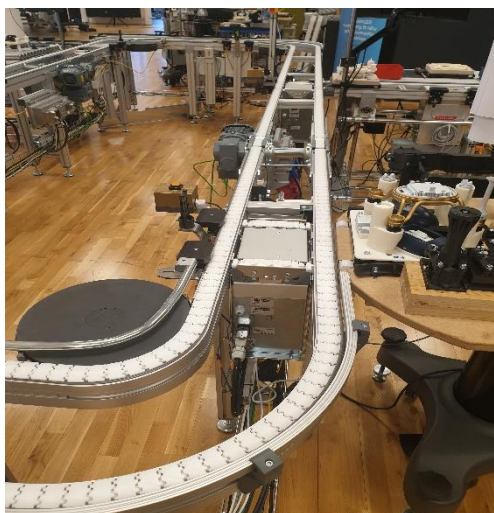
Thingworx kallar på Automation mobil robot (AMR) från logistiken, se figur 3. AMR lämnar plattan på feedstationen vid main conveyor 1, se figur 4. Det är då station 1. Denna pallet åker på rullbandet tills den träffar station 2, se figur 5 och 6.



Figur 3, Bild på AMR



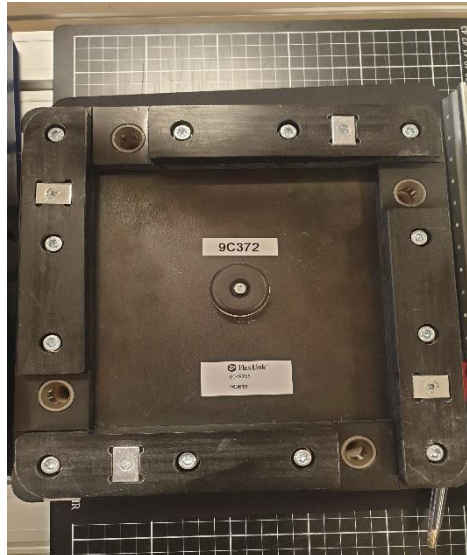
Figur 4, Bild på main conveyor



Figur 5, Bild på rullbandet



Figur 6, Bild på station 2



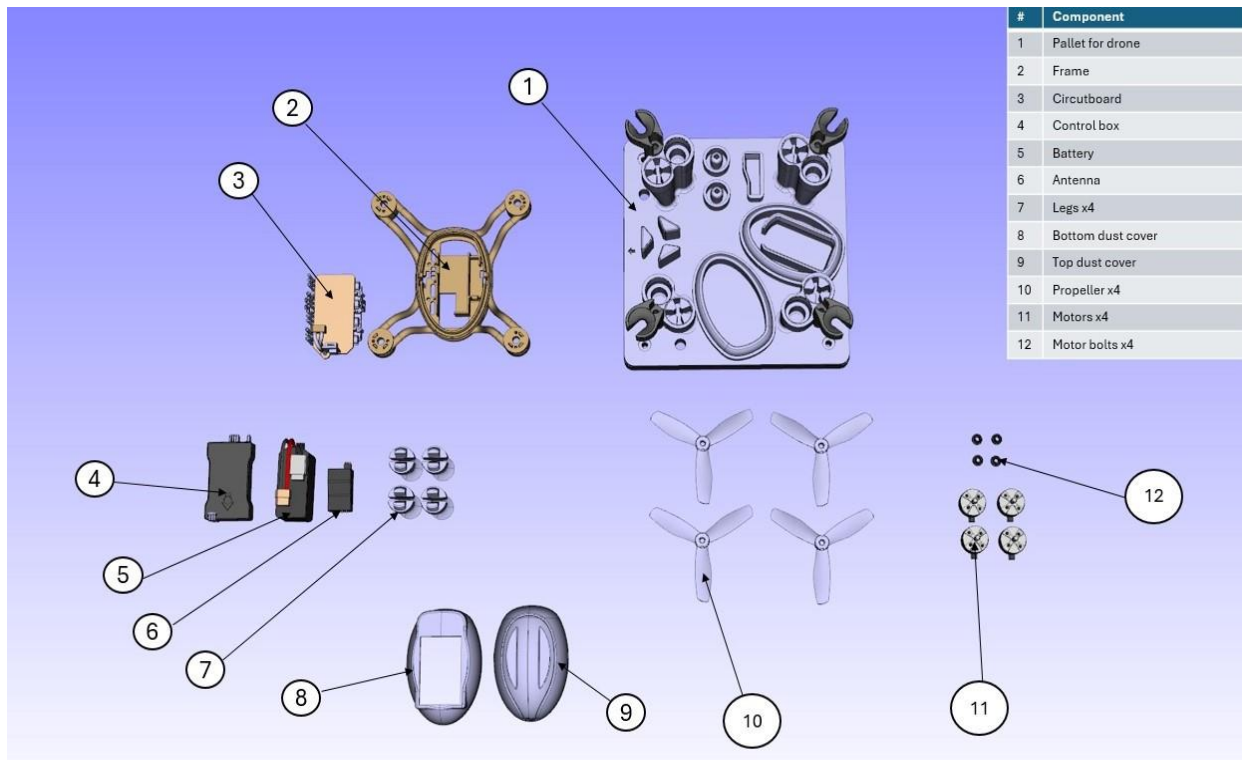
Figur 7, Bild på ID nummer för plattan

För varje platta som drönaren befinner sig i finns det ett specifikt ID nummer som Thingworx kan läsa av. Detta specifika ID-nummer finns under plattan (se figur 7). Genom detta nummer kan Thingworx systemet känna av om plattan skall åka in eller om det får åka in på stationen. Thingworx kontrollerar om det finns något redan i station 2 eller inte. På varje station får det plats med två plattor. Om plattan åker in till station 2 kommer de specificerade arbetsuppgifter utföras av montör. När dessa uppgifter är klara ställer operatören tillbaka plattan på rullbandet och plattan fortsätter vidare till nästa station. Vid den sista stationen som är en granskning station finns det två möjliga fall. Om produkten inte är okej kommer operatören att tala om det för Thingworx och därefter skickas plattan med drönaren på tillbaka till rullbandet. Plattan kommer då att transporteras och stanna vid varje station. Om det inte är den stationen som skall återgälda felet kommer Thingworx att tala om det och plattan förs vidare i transportbandet tills den når station som skall återgälda felet. Om plattan är okej kommer drönaren att plockas bort från plattan och sen paketeras i kartong, se figur 8. Den tomma paletten skickas ut på banan där nu palettens ID-nummer inte är knuten till någon order. Denna åker tillbaka till main conveyor. När Thingworx känner av att den skall hämta plattan för kitting kommer den att skicka AMR och där efter upprepas proceduren på nytt [11].



Figur 8, Bild på en färdigmonterad drönare

Drönaren är uppbyggd av tolv olika komponenter, i figur 9 nedan visas de olika komponenterna i en materialförteckning. Dessa 3D modeller har använts i simuleringen.



Figur 9, Materialförteckning av drönarkomponenter

2.3 Industrial Path Solutions (IPS) – Beskrivning av mjukvara

Industrial Path Solutions är en mjukvara som från deras beskrivning är skapad för att uppnå tre huvudmål. Nyckelorden från deras hemsida är följande “Speed, Power & Easy to use” [12]. Huvudmålet med programmet är att göra det möjligt att kunna bygga upp en miljö, samt simulera funktioner och rörelse inom programmet. Detta kan bland annat göras med virtuella arbetare kallade “Manekins”, som är en del av funktionen ”Intelligently moving Manikins” (IMMA) [13]. Mjukvaran innehåller en inbyggd ergonomiutvärderare, som kan beräkna belastnings värden i REBA eller RULA [13]. Utöver detta finns det möjlighet att använda sig

av VR i programmet, både för att skapa rörelser samt observera objekt eller simulationer på nära håll. En ytterligare viktig funktion för projektet är "Point Cloud" funktionen, vilket möjliggör en 3D scannad miljö av det verkliga SII-labbet. Det pointcloud som används under projektet är klassat som "Small-and Mediumsized Pointclouds", som därmed blir importerad som en del av geometrin [13].

En fördjupning av vissa viktiga funktioner görs i underrubriker nedanför.

2.3.1 Funktioner i IPS

Följande lista är dem givna funktioner ingående i IPS, här nämns funktionerna och en kort beskrivning. Mer information samt videoklipp om funktionerna i IPS går att hitta på deras hemsida [12].

- Cable simulation – *Kontroll och simulation i realtid av flexibla material.*
- IMMA – *Effektiva algoritmer för montering ergonomi.*
- Robot Optimization – *Prisvinnande optimering med visade resultat. Optimering av robotrörelse för minskade onödiga rörelser.*
- Bellows & Grommets – *Simulera rörade bälgar och skyddsringar.*
- Virtual Paint spray – *Sprayfärg simulering.*
- Sealing & Adhesives – *Verklighetstrogen simulering av tätningsdeponering.*
- Oven Simulation – *Optimering av ugnars värmeöverföring*
- Projection Simulation – *Virtuell produktförberedelse av ytbehandling.*
- Hanging Optimization – *Optimera hängnings mönster för rullbandssystem.*
- Rigid Body Path Planner – *Automatisk generation av rörelse bana utan kollision.*
- IBOFlow – *Simulering av komplexa flöden*
- Inspection Path Planner – *Automatisk programmering och optimering av inspektionsuppdrag.*
- Virtual Reality – *Visualisering och interaktion med simulationer. Möjliggör kompatibilitet med VR hårdvara och IPS mjukvara.*
- Pointcloud Tools – *Visualisera och beräkna med biljoner punkter.*

2.3.2 Mannekäng

"Mannekins" som IPS kallar dem eller mannekäng, fungerar som programmerbara dockor. Mannekängen består av 6 styrbara punkter som kan styra mannekängerna i realtid, de olika punkterna visas i punktlistan nedan [13]. Funktioner som möjliggör manipulation av mannekängen kallas följande: Attach point, Grip point och View point [13]. Ytterligare kontroll av mannekängen förekommer i funktionerna Grip Editor, där nya grepp kan definieras och alla fingrar samt greppstängsel kan manipuleras [13]. Dockan rör resterande kropp på det bäst beräknade ergonomiska sätt, i försök av att om positionera sig själv med den bästa hållningen möjlig [13]. Det är möjligt att begära dockan att undvika kollisioner och programmet hittar mest ergonomiska väg för att utföra detta automatiskt. Följande är punkter är manipulerbara:

- Höger & Vänster hand
- Höger & Vänster häl
- Höger & Vänster mitten av fot
- Fingrar i handgreppet
- Handgrepps stängnad

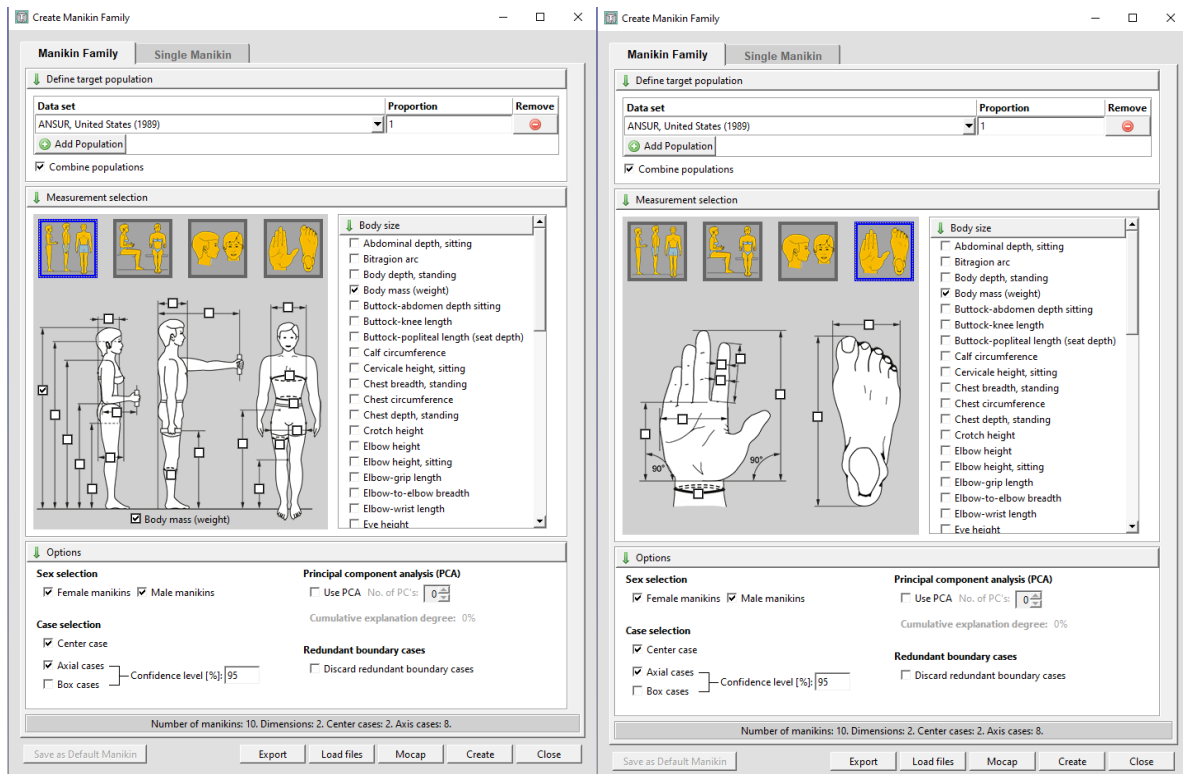
IMMA skapar rörelsen med hjälp av matematik och optimeringstekniker, med hänsyn till faktorer som kinematiska kopplingar, balans, kontaktkrafter och bekvämlighet för mannekängen [14]. IMMA möjliggör simulering av olika typer av människor med olika kroppsförutsättningar och även få en simulering av hur objekten kan monteras [15].



Figur 10, Utseende av mannekäng i IPS

Alla partier av mannekängerna kallas familjer, dessa familjer kan bestå av en eller flera mannekänger. Dessa familjer är anpassningsbara baserat på antropometrisk data [13]. Det finns en standardfamilj med 10 dockor som består av olika längder, kön och vikt på varje person. I exemplet nedan baseras variationen på ett urval av kroppsmaat baserade på tillgängliga antropometriska databaser, som i detta fall baserats på USA 1989. (se figur 11). Det finns möjlighet att få variation i variabler till både sittande och stående lägen. Men även mer specifika variabler som till exempel, handlängd, fotlängd, armlängd går att få variation på (Visas i figur 11). Vilket kan resultera i flera miljoner möjliga kombinationer. Detta möjliggör tester i ergonomi för alla former på kroppar.

Kinematiken av mannekäng modellen är ett träd av stela länkar kopplade med hjälp av kopplingar kallade joints. Varje joint har en frihetsvinkel och är kapabel till att rotera runt en axel, så därför är en mer avancerad joint som till exempel en handled, uppbyggd av en serie av joints. Vilket ger illustrationen av en tredimensionell rörelse [16].

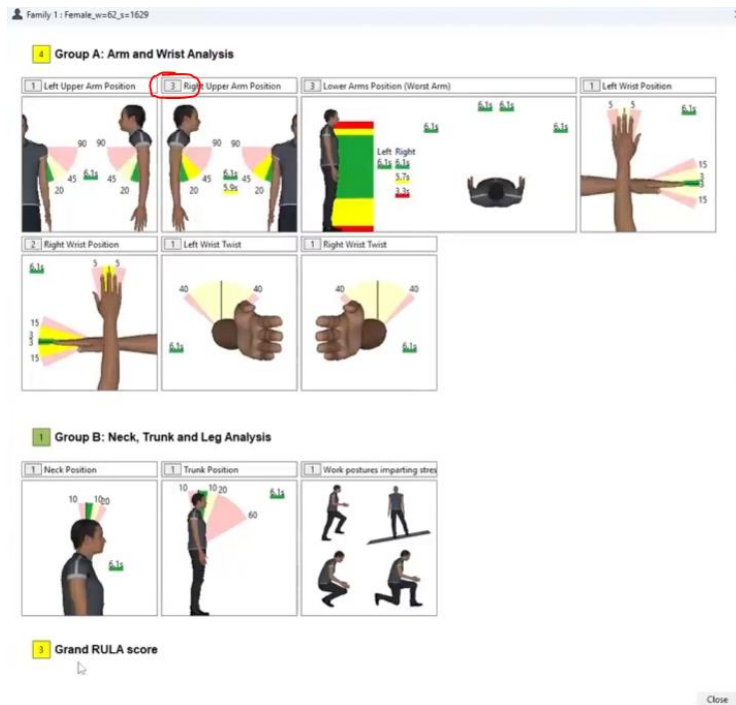


Figur 11, Exempel på variabler att inkludera i beräkningen

2.3.3 IMMA (Ergonomi) i IPS

För att undvika skador och uppehålla hög kvalitet på produktionen krävs bekväma arbetsmiljöer. Det finns olika aspekter till varför det uppstår dålig ergonomi i en arbetsplats och några av dem är att produktens design, monterings metod av produkten och även stationernas layout. Att upptäcka och förebygga dessa problem i en virtuell miljö är både billigare och även möjligt tidigare i projektets gång, innan en fysisk prototyp är tillgänglig [16].

Inbyggt i programmet är en ergonomiutvärdering som kan baseras på RULA eller REBA som är en poäng baserad skala (2.4). Denna utvärdering beräknas utifrån mannekängkin projektalen och ger poäng baserat på till exempel hur mycket dockan böjer sig ner eller hur händerna är placerade.



Figur 12, Exempel på RULA simulering

I figur 12 visas hur ett resultat kan se ut. Detta är baserat på en simulering där dockan lyfter ett objekt och placerar objektet i ett bilchassi. I exemplet användes endast högerarmen och har fått ett värde på tre. Detta med anledning av armvinkeln, men poäng har även getts på handvinkeln. Summan av alla poäng genomgår RULA formeln och kommer till ett slutgiltigt RULA värde, som i detta fall resulterade i tre.

2.4 RULA

Muskuloskeletala sjukdom är en sjukdom som oftast är vanligast förekommande i överdels kroppen men även i ryggen [17]. Denna sjukdom påverkar bland annat musklerna, leder, ben och nerver. Sjukdomar som kommer till av arbetsrelaterade uppgifter brukar benämnas som arbetsrelaterad muskuloskeletala sjukdomen [18]. Hur muskuloskeletala sjukdomen uppkommer kan vara genom mer fysiska, tunga och repetitiva rörelse eller genom att arbetet utförs i en högre arbetstakt i organisationer [17]. Upprepande repetitiva rörelser kan vara tröttsamma och farliga. Detta kan därmed leda till att besvär i bland annat handlederna och armarna. Förutom det kan även de upprepande uppgifterna påverka produktiviteten till det negativa [18].

När risker som kan leda till denna sjukdom upptäcks ska oftast förebyggande handlingar vidtas [17]. Dessa förebyggande handlingar ska då antingen reducera eller förhindra riskerna. Rapid upper limb assesment (RULA) är en metod som har som motiv att utgå från överdelskroppen där det undersökts om arbetarna vid deras arbetsuppgifter utsätts för risker som har koppling till muskuloskeletala sjukdomar. Metoden RULA delas upp i två grupper där en av gruppen fokuserar på handleden, armen, handledsvridningen och underarmen. Den andra gruppen fokusera på nacken, ben och bål. Faktorer som bedöms i RULA är kroppshållning, belastning och muskelaktivitet. Bedömningar görs genom poäng där summan av alla poängen utgör en nivå. Totalt finns det 4 stycken olika nivåer. De olika nivåer talar om åtgärder ska vidtas eller ej där nivå 1 inte kräver åtgärder medan nivå 4 är att åtgärder måste tas omedelbart [17].

Poängen tilldelas efter olika aspekter utifrån hur överkroppen är vid arbetsmomentet [19]. Utdelningen av poängen beräknas genom att studera varje grupp som hör till RULA för sig. Det som studeras kan handla om hur många grader eller vridning som det studerade kroppsdelens utsätts för vid utförandet av arbetsmoment. För till exempel underarmen handlar det om att se hur många grader armbågen böjs och för nacken studeras hur många grader eller vridningar tillkommer vid arbetsmomentet. Utifrån detta ges ett poäng för respektive kroppsdel där även ett negativt värde kan delas ut. För axlar kan en negativ siffra delas ut genom att arbetarens axlar får någon form av stöd vid utförandet av arbetsuppgiften. Analysen tar även hänsyn till belastningar i form av vikt. Slutligen adderas poängen ihop och ett värde fås [19].

2.5 Point Cloud

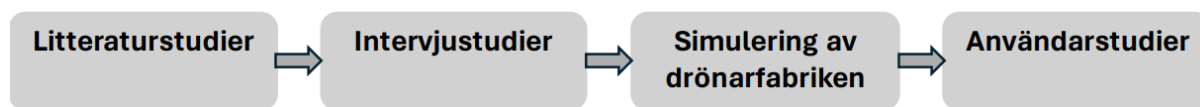
3D laserskanning är en teknik som med en laserstråle gör det möjligt att kunna skapa och efterlikna den verkliga miljön [20]. Tekniken fungera genom att en laserstråle skjuts ut från laserskannaren. När laserstrålen träffar objekten, som finns i den omgivningen som ska skannas, kommer strålen då att reflekteras tillbaka. Denna reflektion fungera då som en avståndsmätning. Alla dessa avståndsmätningar har varsin respektive x, y och z koordinater. Dessa mätningar med de respektive x, y och z koordinater samlas då som punkter. För att vara säker på att objektet fångas upp av strålen bör skanningen genomföras ett flertal gånger för att kunna säkerställa att objektets alla sidor fångas upp. När alla dessa skanningar är klara skall de sedan sammanfogas för att bli ett punktmoln [20]. Nedan visas en figur 13, som illustrerar SII-labbet i point cloud format.



Figur 13, En Point cloud av SII-labbet

3. Metod

I detta avsnitt ges en beskrivning av hur arbete har genomförts och varför. Nedan visas figur 14 som beskriver övergripande hur projektet kommer att genomföras.



Figur 14, Övergripande beskrivning av arbetets arbetsgång

3.1 Litteraturstudier

I början av arbete gjordes efterforskning kring vad VR är och hur det används. Detta ansåg var nödvändigt för att kunna ge en förståelse kring ämnet och därmed kunna genomföra projektet på bästa sätt. Hemsidor som Directscienc och Springlink gav relevanta artiklar om ämnet VR och hur det tillämpas. Sökord som användes för att få fram artiklar om ämnet VR vara "VR and production", "Virtual reality in manufacturing" och "Virtual reality and ergonomic". Andra relevanta artiklar från examinatorns publikationer användes för att förstå vad och hur VR används.

Studier kring vilka företag använder sig av VR gjordes genom internetsökning och konsultation med handledaren.

Litteraturstudier om IPS gjordes för att förstå vad programvaran kan utföra och hur det kan användas i projektet. IPS egna hemsida gav relevant information om programvaran men även material i form av övningar som blev utdelat under projektet användes för att förstå programvaran.

Studier om RULA gjordes genom internetsökning samt videos som förklarade hur en RULA bedömning görs.

3.2 Intervjustudier

För att förstå mer hur företag kan tillämpa VR i deras verksamheten förbereds ett par intervjufrågor. Dessa frågor skulle främst ha en koppling till första frågan i frågeställningen "Hur använder företag VR i deras produktion? Kan VR hjälpa ta ingenjörsbeslut?".

Genom att intervjua företag som tillämpade VR uppenbaras det om vilka sammanhang verktyget används och vad dess potential är. Det ansåg även kunna ge en bättre förståelse kring vad VR egentligen kan göra ute i produktionen.

De företag som valde att ställa upp för en intervju var Volvo Cars och Virtual manufacturing Sweden AB. Anledningen till att dessa företag intervjuades var på grund av att intervjupersonerna arbetade med olika områden inom VR och därmed ansåg kunna ge en bredare förståelse kring hur VR används inom produktionen. Det ansåg även ge en inblick hur VR tillämpas för ett företag som är en slutkonsument och ett företag inom konsultbranschen.

För Volvo Cars intervjuades Puranjay Mugur. P.Mugur arbetsuppgifter handlade främst om att med hjälp av VR och simuleringar kunna utvärdera ergonomi för arbetsstationer och moment i Volvos fabriker. Att intervjua P.Mugur ansåg kunna ge en bättre förståelse kring metoder inom VR angående ergonomi.

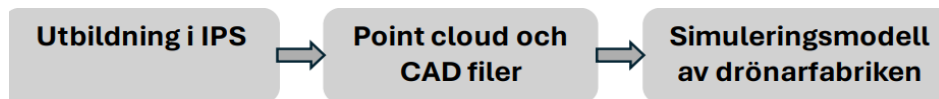
Intervjupersonen från Virtual manufacturing Sweden AB var Olivier Siipilehto Karlsson. O.Siipilehto.Karlsson arbetar med produktutveckling och utvärdering av simuleringsmodeller med hjälp av VR och simuleringar. Genom att ha en intervju med O.Siipilehto.Karlsson ökades förståelsen av hur VR används för produktutveckling och visualisering av produktioner.

Intervju med P. Mugur ägde rum via teams och en intervju med O.Siipilehto.Karlsson ägde rum i deras kontor i Göteborg. Intervjun var en semistrukturerad intervju där ett par förutbestämda frågor ställs. Dessa förutbestämda frågor öppnade en vidare diskussion som gav en bättre förståelse om ämnet VR.

En intervjustudie med forskningsingenjören Sven Ekered ägde rum. Denna intervju syftade på att få en bättre förståelse kring hur SII labbets drönarfabrik fungerar. Intervjuns struktur var att S. Ekered berättade hur allt fungerar i fabriken från start till slut.

3.3 Simulering av drönarfabriken

Här beskrivs de nödvändiga stegen för att kunna få en simulerade virtuell miljö av SII-labbets drönarfabrik. Figur 15 illustrerar de övergripande stegen för att kunna uppnå en simulerade miljö.



Figur 15, Övergripande beskrivning hur simulering av drönarfabriken kommer att ske

3.3.1 Utbildning i IPS

För att kunna använda och tillämpa IPS på ett korrekt sätt var första steget att gå en utbildning om programvaran. Denna utbildning hölls av företag Fraunhofer Chalmers center (FCC) som är ansvariga för forskning och utveckling av IPS. Under utbildningen testades olika simulerings metoder och tillgänglighet av att ansluta användaren i VR. Efter utbildningen utfördes olika övningar i IPS. Övningar som vara mest relevanta för projektet gjordes för att kunna säkerställa en bättre förståelse och kännedom om programmet. De övningar som utfördes var de som hade mer koppling till ergonomi och metoder för att rita upp rörelser i simuleringen. Även testning av VR gjordes i IPS för bättrad förståelse av navigering och integration med miljön.

3.3.2 Point cloud och CAD filer

Att kunna simulera drönarfabriken för att sedan kunna efterlikna den verkliga fabriken krävde att olika steg genomföras. CAD filer för självaste drönarfabriken och drönaren 2.0 var redan färdigt konstruerade och därmed importerades bara in i IPS. För att kunna få en verklighetsbild av fabriken användes en point cloud av hela SII-labbet som sedan importerades in i IPS. Point clouden som användes vara färdigbyggt innan projektets start. Punkterna i point clouden justerades för att kunna få en bra upplösning i programvaran.

3.3.3 Simuleringsmodell av drönarfabriken i IPS

När alla filer var importerade vara nästa steg att rita upp fabriken. Först sattes fabriken i olika delar ihop och därefter simulerades plattan som drönare befann sig i. Denna simulering visade hur drönaren skall ta sig från den första station till den sista stationen. Därefter gjordes simuleringen för monterings arbetsinstruktioner av drönarnaren. Här användes totalt 5 st mannekänger, en för varje arbetsstation. Med dessa mannekänger gjordes en simulering av hur

monteringen för drönaren skall gå till. Nästa steg vara att försöka sätta ihop simuleringen av plattan för drönaren och monteringen i en sekvens. Genom att alla dessa steg gjordes kunde drönarfabriken byggas upp och efterlikna den verkliga. Efter att fabriken byggdes upp gjordes en kort inspelning av fabriken för att bättre förstå flödet och dess arbetsmoment.

3.4 Användarstudier

En studie genomfördes som handlade om att undersöka hur det ergonomiska resultatet skiljer sig från IPS där en mannekäng utförde ett arbetsmoment i jämförelse med en person som utförde samma arbetsmoment i VR. Studien innefattade även hur ergonomin och upplevelsen skiljer sig från verkliga miljön jämfört med den virtuella miljön.

I projektet användes VR utrustning headset HTC Vive med två styrkontroller, *se figur 16*. Med hjälp av detta VR headset kunde man befinna sig i IPS simulerade miljö och integrera med dess omgivning.



Figur 16, VR headset

Den integrerade utvärderingsmetoden för ergonomi i IPS användes för mannekängar. Utgångspunkten vara att mannekängerna i IPS kommer att ha samma mått och vikt som personen i VR.

En egen RULA utvärdering gjordes på personer som monterar drönaren i VR och i verkligheten. Analysen utfördes på en station där de olika testpersoner i VR genomförde samma arbetsmoment. För att kunna få fram underlag för denna studie framställdes tio st enkätfrågor. Även inspelningar av testdeltagarna gjordes som fungerade som underlag för denna studie.

För de inspelade videorna gjordes sedan egen RULA utvärdering. Det inspelade materialet fungerade även som stöd vid utvärdering av om det fanns skillnader eller likheter på hur arbetsmomentet som genomförs i VR jämfört med i verkligheten. Enkätfrågornas syfte var att se om testdeltagaren upplevde någon form av skillnad av att genomföra arbetsmomentet i VR och i verkligheten.

3.4.1 RULA-studie

En beskrivning av hur RULA utvärderingar har gått tillväga och förklaring till motiveringar. RULA utvärderingarna som har utförts är beräknade av oss själva, till så god förmåga som författarna i detta arbete möjligt kunnat göra med nuvarande kunskap. Författarna i detta arbete är inga experter på dessa utvärderingar, hänsyn bör tas till att dessa uträkningar kan potentiellt

innehålla fel. Hänvisningar medföljande i RULA mallen har följts så gott som möjligt. Alla utvärderingar har följt samma "regler" som arbetes författare själva har satt. Rörelserna från testerna blev inspelade och klippen har blivit analyserade kroppsdel för kroppsdel följande ordningen i mallen.

Poängen för respektive kroppsdel har baserats på vilken vinkel som har främst och mest förekommit. Till exempel, om handleden böjs mellan 1-3 sekunder och samma rörelse inte förekommer fler gånger så bortses den rörelsen från RULA scoren då den ej anses vara stort påverkande. Ytterligare exempel, om ryggen är i majoritet framlutad i 20 grader eller mer, samtidigt som andra böj vinklar förekommer, men i mindre frekvens. Så väljs RULA poängen för vinkeln över 20 grader.

RULA mallen som har använts är hämtad ifrån Cornell University [22]. Utseende av mallen går att se i resultaten från RULA utvärderingen, bifogat från bilaga 1 till 5.

4. Resultat

I detta avsnitt presenteras vad resultatet blev vid utförandet av detta projekt.

4.1 Resultat intervjustudie

De frågor som ställdes under intervju är skrivna i en löpande text. Svaren från intervjuerna sammanställs som kommentar i kursivtext och är därmed inte något direkt citat från intervjupersonerna utan är mer än sammanställning av vad som diskuterades under intervjun.

Gällande hur företaget använde sig av VR förklarade P.Mugur från Volvo Cars att:

VR som verktyg användes för att verifiera och validera. De kan handla om något i ett simuleringsprogram ser märkvärdigt ut, kan man då med VR gå in i simuleringen och få en bättre förståelse och känsla för det. Det kan handla om ett objekt som skall monteras ser underligt ut i simuleringen. Då kan man med VR gå in och se hur det egentligen ser ut och därmed få form av verifikation hur det är.

O. Siipilehto Karlsson från Virtual manufacturing berättar att:

Virtual manufacturing använder VR bland annat inom produktutveckling och utvärderingar av modeller. Företaget själva har egna produkter vilket är flow racks och arbetsstationer. För VR inom detta område handlar det om att få en uppfattning att dess produkter kan nå utifrån kundernas anläggningar. För utvärdering av modeller med VR handlar det mer om att få en uppfattning kring hur framtidens produktionslinor kan se ut. Det handlar inte om att få in data av produktionen vid användandet av VR.

Något som diskuterades under intervju var hur väl VR simulerar verkligheten och kan hjälpa till att ta viktiga beslut. Även frågan kring om intervjupersonerna hade ett exempel på där VR hjälpt dem upptäcka fel som kanske inte hade möjligt visat upptäckts i verkligheten. P.Mugur berättar att:

Det beror på hur väl man modellerar modellen i simuleringen. Ju mer modellen har likheter med verkligheten desto bättre resultat fås gällande hur väl det simulerar verkligheten. Gällande beslutfattande kan VR hjälpa till. Det kan handla om att folket från fabriken och ingenjörer kan tillsammans värdera arbetsstationer och se olika parametrar. Det kan handla om att värdera om höjden är tillräcklig eller om något kollidera med handen. Det var ett scenario där människorna från fabriken vara osäkra om de kunde montera en komponent vid avseende på ergonomi. De visste inte vilken vinkel som krävde för monteringen också. Utifrån en simulering med VR kunde man få fram en vinkel som anses vara tillräcklig för montering.

Intervju med Virtual manufacturing där O. Siipilehto Karlsson förklarade att:

VR simulerar det relativt bra. För visualiseringar fungera det utmärkt att få ett grepp på hur avstånden är och om man kan gå runt en viss maskin. Vid gällande beslut kan det handla om nåbarheten. Det kan handla om att utvärdera om man kan nå ett objekt. Om ett objekt ligger för långt bort kan man då CAD om eller placera objektet på ett annat sätt. Det fanns ett uppdrag från en kund, där i simuleringsprogrammet Visual Component var roboten i acceptable storleken men när man gick in i VR vara roboten för stor för produktionslinan. Utifrån detta exempel kunde man då förutse säkerheten och förebygga fel.

I intervjuerna diskuterades ytterligare ämnen som ej passat in i detta stycke, men ändå anses ha intressant värde. Dessa frågor har bifogats under bilagor, se bilaga 7.

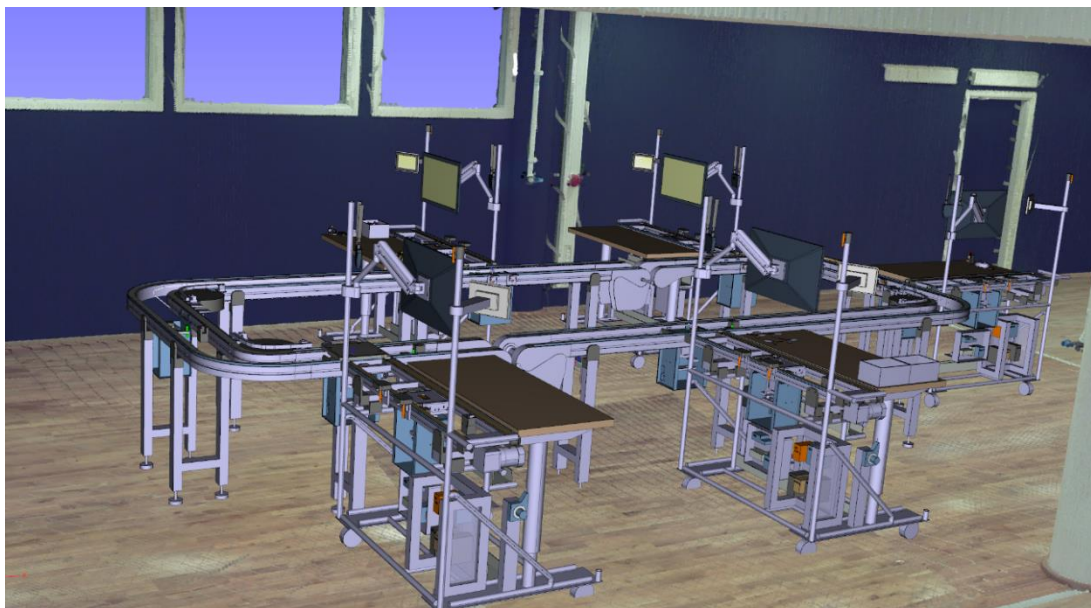
4.2 Simulering av drönarfabriken i IPS

I detta avsnitt presenteras hur simuleringen av drönarfabriken utförts och vilka steg som krävdes för att bygga upp den virtuella miljön. Ett resultat presenteras som beskriver hur simuleringen blev.

4.2.1 Importering av point cloud och CAD filer

Det först steg vid uppbyggnad av en virtuell miljö av drönarfabriken började med att importera in Point cloud av hela SII labbet. Point cloud var redan färdig vid projektets början där justeringar i antal punkter gjordes för att kunna få en tydligare upplösning. Molnet bestod av ungefär 40 miljoner punkter vilket var under IPS krävda 50 miljoner för att anpassas som ett ”small/medium size pointcloud” och därmed vara en del av geometrin. Storleken av punkterna i molnet skalades upp för att fylla mellanrummen för bättre visualisering.

Nästa steg vara att importera in CAD filer som var färdig konstruerade innan projektets start. Dessa CAD filer innehöll alla komponenter som efterliknade drönarfabriken och självaste drönaren 2.0. De olika komponenter för fabriken sattes ihop för att efterlikna drönarfabriken i labbet. Drönarfabriken bestod av fem stationer där tre kunde i principen utföra identiska arbetsmoment. De två resterande vara en kvalitetscheck och en robot som kunde hjälpa till, se figur 17.



Figur 17, SII labbets drönarfabrik i IPS

4.2.2 Simulering i IPS

I detta steg gjordes en simulering av hur plattan till drönaren skulle röra sig i fabriken. Rörelserna skapades med verktyget *motion* i IPS där varje motion hade punkter med bestämda koordinater och vinklar i x, y och z led. Flertal punkter skapades då fabriken uppbyggnad har en mer cirkel liknade form och därmed ger upphov till att plattan måste vridas för att kunna gå vidare i transportbandet. Verktyget *motion* användes även på CAD filerna i detta fall på hissen

som finns för varje station. Hissens rörelse skapades med verktyget motion som illustrerade hur den tog upp och ner plattan. Själva bandet i sig rörde sig inte beroende av att hela transportbandet räknades som en CAD modell. Ett möjligt påstående hade kunnat vara att drönaren "svävar" över bandet.

Alla motionerna som skapades sattes ihop i verktyget Operation Sequence. Där en rangering av motionerna skapades i korrekt ordning, och simulera hur plattan rörde sig från station 1 till station 5.

När plattan var färdig simulerad var nästa steg att inkludera drönaren i simuleringen. För drönaren 2.0 fanns det redan färdiga CAD filer av komponenterna konstruerade innan projektet start. Simulering av drönaren startade med att först bestämma vilka uppgifter stationerna skulle ha i monteringssekvensen. Station 1, 2, och 4 var monteringsstationer och kan enligt arbetsstationens uppbyggnad utföra samma uppgifter. De följande monteringsinstruktionerna som togs fram enligt önskemålen från arbetsgivaren var att för station 1 skulle motorerna skruvas fast. För station 2 skulle benen, kontrollenheten och cover under monteras fast. På station 3 vändes drönaren upp och ner för att sedan transporteras vidare till station 4. Vid station 4 skall antennen, batteri och cover top monteras. Vid den slutliga stationen vilket är Station 5 är arbetsmomentet att kontrollera att drönaren är rätt monterad. Monteringsstegen sammanfattas i följande lista:

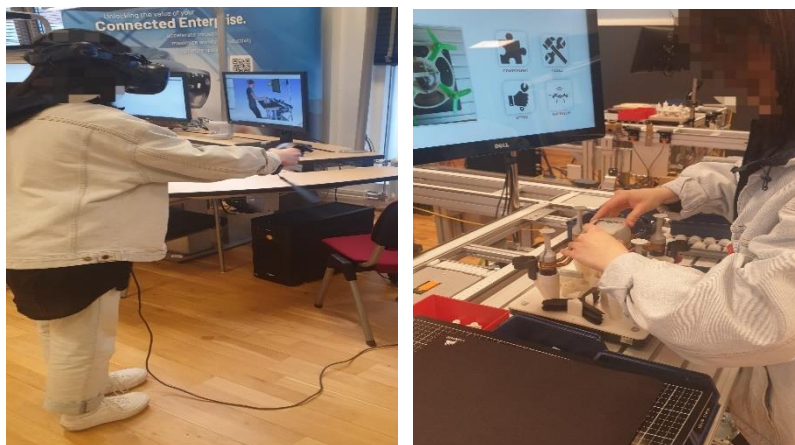
- Station 1: Motorskruvar monteras.
- Station 2: Fyra ben och kontrollenhet monteras, samt det undre dammskyddet fästs.
- Station 3: Drönaren vänds.
- Station 4: Propeller placeras, propellermuttrar fästs, batteri och antenn kopplas in, övre dammskydd fästs.
- Station 5: Drönaren felsöks och kontrolleras.

4.3 Resultat användarstudie

I detta avsnitt presenteras hur användarstudien blev och dess resultat. I användarstudien var det totalt 5 st testdeltagare som genomförde monteringen i VR och verkligheten. Olika undersökningar för resultatet utgicks utifrån två personer som skiljde sig mest i längd och metod. Resultatet vara att de framgick större böjningar av både överdelskroppen och nacken i den virtuella miljön, se figur 18. Även större armrörelser inträffades mer när monteringen utfördes i VR, se figur 19



Figur 18, Mer böjning i VR än i verkligheten



Figur 19, större armrörelse i VR

4.3.1 Resultat RULA

I detta avsnitt presenterar hur resultat av ergonomi i studien blev utifrån RULA utvärderingen. RULA utvärderingen gjordes för arbetsstation 2. Resultatet av de olika RULA poängen kan ses i tabell 1.

	IPS Mannekäng	IPS (egen) Mannekäng	Person 1 VR	Person 1 Verklig	Person 2 VR	Person 2 Verklig
RULA SCORE	3	3	5	4	3	3

Tabell 1, RULA resultat

Resultatet baseras utifrån IPS egna inbyggda RULA utvärderingsfunktion för simulering av mannekängernas rörelser. IPS beräkning slutade med ett RULA slutvärde av 3. Arm och

handled del värderades med 4 poäng, respektive nacke, ben och bål som värderades med 1 poäng, se bilaga 2.

En ytterligare RULA utvärdering gjordes på egen hand som undersökning av potentiella skillnader. Resultatet av den egna utvärderingen gav detsamma slutvärde som i IPS vilket är 3, Se bilaga 1.

Resultat för testpersonerna som använde VR för montering i IPS baseras på en egen utförd RULA utvärdering. Personerna som deltog i undersökning var olika längder och utförde monteringen på olika sätt. Testet utfördes av 5 personer, däremot har en RULA undersökning gjorts utifrån två personer som skiljde sig mest i längd och metod.

- Ett av resultaten gav slutvärdet 5 på Person 1, med värde 5 i arm och handled respektive 4 i nacke, ben och bål, Se bilaga 2. Detta test utfördes av en person 180cm lång med överdrivande rörelse och mycket böj. Mer beskrivelse av utförandet kommer i diskussion 5.2 Diskussion FS2.
- RULA utvärdering på Person 2 gav ett slutvärde av 3. Med värde 4 för arm och handled, respektive 3 för nacke, ben och bål, Se bilaga 4. Utförande person av detta test var 160cm lång, med rakare rygg och undvikande av böj.

Resultatet för den verkliga monteringen baseras på en egen utförd RULA utvärdering. RULA utvärderingen i verkligheten har utförts av samma personer som gjorde testet i VR.

- Person 1 utvärderades med RULA slutvärdet 4. Samtliga delar: Arm och handled & Nacke, ben och bål resulterade i värdet 4, Se bilaga 3.
- Person 2 utvärderades med RULA slutvärdet 3. Samtliga delar: Arm och handled & Nacke, ben och bål resulterade i värdet 3, Se bilaga 5.

4.3.2 Resultat Enkätstudien

I detta avsnitt presenterar vad resultatet från enkätstudien som genomfördes under monteringen i VR och i verkligheten. Efter att alla testpersoner hade gjort monteringen i VR och i verkligheten svarades ett par frågor som berörde om det upplevdes någon skillnad i att montera i den virtuella miljön jämfört med den verkliga. Förutom frågor framgick även öppna dialoger med testpersonerna. Från svaren som sammanställde verkar det framgå vissa skillnader med att montera i VR jämfört i verkligheten. Det som verkas skilja mest med att montera i VR jämfört med verkligheten utifrån testpersonernas svar från enkäten vid avseende på överdelskroppen, armarna, huvudet och nacken sammanställs i tabell 2. För de kompletta svaren från enkätstudien hänvisas det att se bilaga 8.

	Person 1	Person 2	Person 3	Person 4	Person 5
Överdelskropp	Mer böjd i VR	Mer böjd i VR	Mer böjd i VR	Rakare i verkligheten	Mer böjd i överdelskroppen
Armarna	Längre i VR	Lite större i VR	Ingen stor skillnad	Närmare i verkligheten	Mer utsträcka i VR
Huvud/nacke	Nacken vreds i VR	Böjt i VR	Samma som i överdelskroppen	Nacken var skönare i verkligheten	Lite mer lutning i VR

Tabell 2, Skillnader sedda i olika kroppsdelar

5. Diskussion

Innehållet av detta kapitel består av egna idéer, hypoteser, tankar eller andra diverse som anses värt att nämna eller diskutera.

5.1 Diskussion FS1

Här presenteras diskussion som berör den första frågeställningen. Aspekter som begränsningar och framtida utvecklingar tas upp. Intervjuerna från Volvo Cars och Virtual manufacturing AB gav olika perspektiv hur företag använder sig av VR och därmed ansåg kunna ge ett bra svar till rapportens frågeställning. Det som kunde ses utifrån intervjuerna var att även om företagen använde VR inom olika tillämpningsområden verkar det som att tekniken fungera som ett stöd vid svåra beslutsamhang. Intervjuerna ansåg ge en grundläggande förståelse kring hur företag tillämpar VR i sin dagliga verksamhet.

De största skillnaderna var hur företagen använde VR. P. Mugur från Volvo Cars använder VR för validering och beredning av manuellt monteringsarbete medan för O. Siipilehto Karlsson från Virtual manufacturing använder det mest för produktutveckling och utvärdering av visualiseringsmodeller.

Även om intervjuerna gav en bra förståelse kring hur företag använder sig av VR finns det vissa begränsningar som är värda att nämna. En begränsning är antal företag som intervjuades. Då bara två företag intervjuades är det värt att ha i åtanke att andra företag inom likartad bransch möjligtvis inte tillämpar VR på detta sätt. En annan begränsning är att det är bara personer som arbetade i Göteborg som intervjuades. Det skulle varit intressant att se om hur VR användes i ett företag som ligger utanför Sverige.

Det som skulle vara intressant att undersöka vidare skulle vara att se hur VR kommer att utvecklas. Något som diskuterades under intervjuerna var vad nästa steg med VR kunde vara. P. Mugur berättade att det skulle vara intressant att kunna kombinera olika tekniker med VR och även flera ergonomi metoder. O. Siipilehto Karlsson berättade att kunna simulera händerna på ett bättre sätt och införa flera ergonomi analyser. Svaren från dessa intervjufrågor kan ses i bilaga 7. Utifrån detta skulle framtidens undersökningsområden ha mer fokus på VR med ergonomi och hur det kan förbättras.

5.2 Diskussion FS2

Här diskuteras signifikanta punkter observerade kring frågeställning 2, där det upplyses skillnader mellan den fysiska och virtuella miljön av drönarmonteringen. Skillnader sedda från resultatet diskuteras med begränsningar och rekommendationer för framtida undersökning. En mer ingående beskrivelse av vilka rörelser som skiljde testen åt diskuteras.

Från användarstudien som genomfördes kunde det utvärderas att det finns vissa skillnader med att montera i VR jämfört med verklig miljö, både vad det gäller ergonomin och hur användaren upplever miljöerna. Från enkätfrågorna där en av frågorna som handlade om personen upplevde någon skillnad med att montera i VR jämfört med verkligheten. Svaren från några av testdeltagarna handlade om att de upplevde en viss svårighet i VR gällande att få en bekräftelse på om man har gjort rätt, se bilaga 8. Utifrån det verka detta skiljas åt gällande att få en verifikation på om man har monterat rätt. Aspekter angående överdelskroppen och armarna, förekommer mer böjd rörelse för överdelskropp och även större armrörelse i VR jämfört med i verkligheten, se bilaga 8. Vad det gäller RULA utvärderingen verkar det inte vara en stor skillnad i poängen förutom person 1 som har högst värde både i verkligheten och i VR jämfört med de andra. Även om poängen inte skiljdes åt kunde det ses att utförandet i VR hade större rörelser jämfört med i verkligheten. Även flera böjningar framgick i VR.

Begränsningar som kan vara värda att nämna är att de egna RULA utvärderingar som gjordes vara gjorda av projektets medlemmar. Bedömningarna gjordes inte av en utbildad ergonom. En annan begränsning som kan vara värda att nämna är att studie innefattade bara arbetsstation 2 och inte de andra stationerna i fabriken.

Det som skulle kunna vara nästa steg är att undersöka hur tidsaspekten gällande monteringen skiljer sig i VR jämfört i verkligheten. Några av testpersonerna nämnde som en öppen dialog att monteringen upplevdes vara snabbare i verkligheten jämfört med VR. Det var även en av testpersoner som punkterade det i enkäten, se bilaga 8. Detta skulle möjligtvis kunna undersökas vidare för att få en bättre förståelse hur den virtuella miljön skiljer sig från den verkliga. En annan möjlig aspekt som skulle kunna undersökas vidare är verifikation av monteringen i VR. Utifrån enkäten framgick det att det var svårt att få en verifikation på att man har monterat rätt, se bilaga 8. Detta skulle kunna vara nästa steg med att kunna anpassa eller utveckla tekniken till att ge en form av bekräftelse på att man har monterat rätt.

5.2.1 Jämförelse Montering i IPS vs Verklighet

Denna del jämför skillnader mellan testet som utfördes på verklig drönare och IPS automatiska genererade RULA utvärdering. Skillnader beskrivs mellan monteringen av respektive dimension. Funktionaliteten och begränsningar av IPS rörelser förklaras.

Rörelsen i IPS baseras på en funktion kallad "Rigid body path planning" som tar hänsyn till kollisioner för att hitta en fungerande bana för montering [21]. Baserat på egen erfarenhet verkar det som att mannekängen fäster sin arm mot objektet, och följer objektets projektilbana som den var skapad. Greppet ändras inte under gången och handen blir som ett fast objekt. Som ett påstående hade man kunnat säga att handen följer och anpassar sig efter objektets rotation och rörelse i IPS, gentemot i verkligheten verkar det motsatta. I verkligheten hade det varit mer passande att säga att det är objektet som följer handen och banan bildas på motsatt sätt.

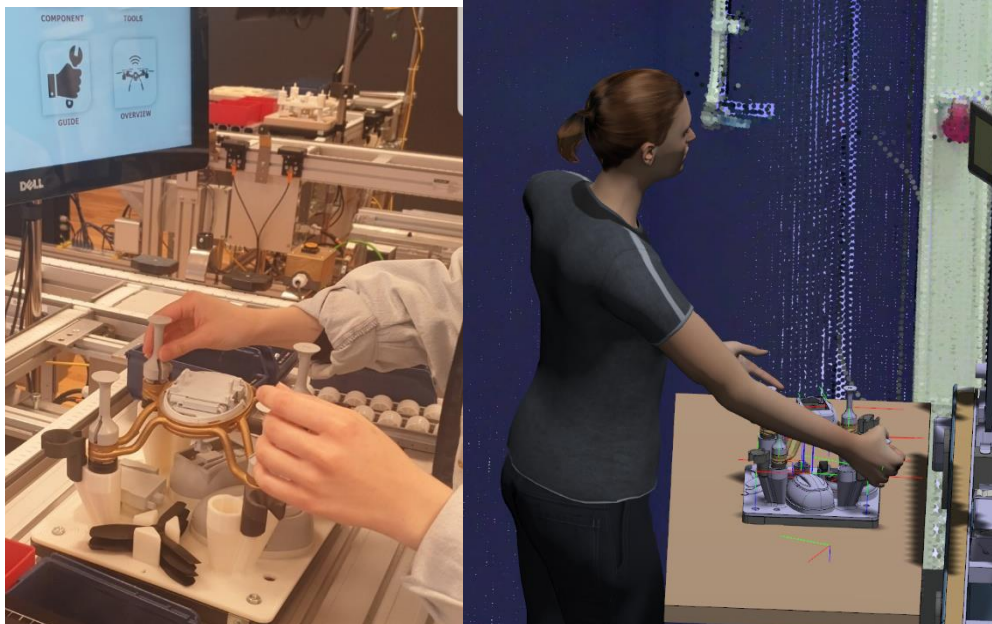
Dem större skillnaderna som sågs i den verkliga respektive IPS simuleringen var hur mannekängen rörde sig mot testdeltagarna. Ett intressant exempel på hur mannekängen rör sig

som påträffades under arbetets gång var följande: Under skruvande rörelse med skruvmejsel ledde till att mannekängen ville flytta på sina fötter hellre än att vrida handleden. Något som kan anses kräva mer energi att göra istället för att vrida handleden, samt ett relativt onaturligt tillvägagångssätt för en människa. En hypotes av anledningen till att mannekängen väljer att röra på fötterna istället för handleden är att mannekängens rörelsealgorithm baseras på den mest ergonomiska rörelsen. Sett i RULA så påverkar handledernas böjning slutvärdet, logiskt sätt skulle dessa rörelser därför undvikas.

Skillnaden på testdeltagarnas och IPS mannekängens montering visade både olikheter och likheter beroende på moment, skillnader kommer i fokus. I följande delar skiljde sig monteringen främst:

- Testdeltagarna bytte grepp ofta, *se figur 20*
- Testdeltagarna har mer små nackböjningar än IPS mannekängen, *se figur 21*
- Testdeltagarna har små överdels böjningar, *se figur 21*
- Testdeltagarna använder bägge händerna, *se figur 22*
- Testdeltagarna hade ofta blicken fäst på drönaren jämfört med mannekängen

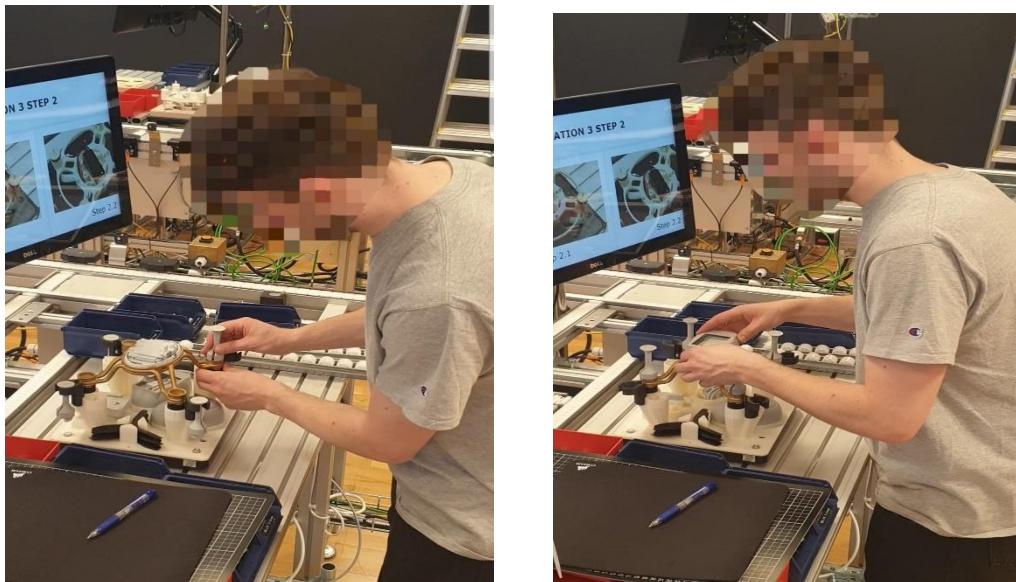
Ytterligare värt att nämna, som sett i figur 20 håller testdeltagaren ett ben i varsin hand. Något som kan bero på den naturliga mänskliga instinkten att förbereda för nästa steg i monteringen. En begränsning då detta är något som ej är möjligt att utföra i IPS, då endast en rörelse är möjlig i taget. Dock skulle detta gå att replikera visuellt i IPS, men skulle ha ineffektiv effekt i detta fall då det ej bidrar till förbättring. Det som vill upplysas är effektiviteten i mänskliga monteringen, samt skillnaden som hade kunnat kallas ”multitasking”.



Figur 20, Greppbyte



Figur 21, Bägge händer används för den verkliga monteringen men en hand i simuleringen



Figur 22, Testdeltagare som har böjd nacke, överdelskropp och montering av locket

Aspekter som monteringsordning har ej tagits hänsyn till, då det anses ej relevant. Skillnader som kan ha potentiella effekter på ergonomi har endast nämnts.

5.2.2 Jämförelse Ergonomi IPS, VR, Verklighet

Under testet i VR förekom större skillnader mellan deltagarna, främst sett i RULA delen med nacke, ben och bål som ingående delar. Det observerades att person 1, som var en av de längre deltagarna böjde sig mer. Vilket ledde till värde 3 för nacke, ben och bål, som är det högsta värde under alla RULA tester som utfördes av oss. Person 2 som var ca 160 cm lång höll ryggen rak och böjde sig sällan. Resultatet av samma del med person 2 blev 2, som följer mönstret för majoriteten av testen. Skillnaden som ses här hade kunnat vara ett fenomen beroende på längden, då arbetsbänken som är 90cm hög och kanske är mer anpassad för en kortare användare. Men andra faktorer som erfarenhet i VR är andra potentiella avvikelser.

Person 1 nämner även i enkäten som svar till skillnader mellan VR och verklig montering: *“Ville böja sig mer och även göra mer rörelser i VR”*, samt *“I VR ville man kolla till vilket gjorde att nacken vreds eller lutades”* som antyder att dem överdrivna rörelserna kan vara på grund av att det varit svårt eller otydligt var komponenterna ska passa in, och rörelserna har varit på grund av att se bättre. Utifrån vissa svar i enkäterna, se Bilaga 8, visas det att “snapping” är en funktion som önskats. Person 5 säger att Precisionen var ett problem, och Person 1 nämner att det inte fanns nån “klickning”. En funktion som ej finns i IPS men något som framtida förbättring om framtida liknande tester ska utföras.

Ytterligare ett av testen var att verifiera vår trovärdighet. Genom att jämföra IPS programgenererade RULA score (se bilaga 6) med en egen utförd RULA analys (se bilaga 1) på mannekängen i IPS. Slutresultatet var detsamma, men det förekom skillnader i de olika underdelarna. En hypotes till skillnaden är vilken position som har ansetts varit aktiv under majoriteten av monteringen. Ytterligare en skillnad förekom i underdel innehållande nacke, ben och bål. Där steg 13 “Muscle score” är anledningen till skillnaden. Ett av alternativen beror på om rörelsen är statisk över 1 minut. Själva monteringen i IPS pågick i ca 22 sekunder och kan ej ha tagits hänsyn till. Detta är en skillnad mot resonemanget som förekom i egna utvärderingen: personen står kvar och väntar på nästa drönare därmed är rörelsen statisk.

5.2.3 Jämförelse av montering för drönaren

I detta kapitel diskuteras hur monteringen i VR och i verkligheten skiljde sig vid avseende på utförande. Även testpersonernas användarupplevelse tas upp här som baseras utifrån enkätfrågorna.

Det som märktes markant under studier av montering i VR och i verkligheten var att större armrörelse inträffade med VR, *se figur 23*. Från enkätundersökningen, se bilaga 8, upplevde testpersonerna att armrörelsen var större i VR än i verkligheten.

En möjlig förklaring av större rörelser kan bero på hur höjden av arbetsbänken upplevdes i VR, jämfört med i verkligheten. Det kan möjligtvis bero på även att i VR får användaren möjlighet att förflytta sig mer jämfört i verkligheten. Möjlig orsak kan vara att montören inte kolliderar med virtuella arbetsbänken som hen hade vid fysiska bänken.



Figur 23, Mer sträckning i VR jämfört i verkligheten

Kroppshållningen verkade skilja sig från montering i VR och i verkligheten. Vid monteringen framgick detta att testpersonerna böjde överkroppen och nacken mer i den virtuella miljön än i verkligheten, se figur 22 och figur 24.



Figur 24, Böjd överdelskropp och nacke

En möjlig förklaring till detta kan vara att användarna upplevde en svårighet med att montera och få en verifikation på att monteringen gjordes korrekt.

En förklaring till att nacken möjligtvis böjs i VR kan vara head set som användes i studien. Detta kan medföra att användaren upplever en påfrestning i huvudet vilket medför att nacken böjs en aning. Detta påpekades av testperson 4 där hjälmen upplevdes tung, se bilaga 8

Från enkäten beskriver många av testpersonerna att de upplevde att överkroppen lutade mer i VR. En av testpersonerna beskriver i enkäten att de valde att böja sig på grund arbetsbordets höjd i VR, se Bilaga 8. Detta kan även vara en faktor som gör att överdelskroppen lutar mer i VR.

Det var också ett scenario där en av testpersonerna valde att flytta på sig i sidled i VR men ingen sidledsförflyttning skede vid montering i verkligheten, se figur 25. En hypotes till detta kan vara att det är svårare att få en bekräftelse på att man har monterat rätt i VR. Även få en känsla och uppfattning om monteringen är rätt gjord. Detta framgick också i enkätundersökningen där ett fler tal testpersoner upplevde en viss svårigheten med att få en känsla för montering i VR, se bilaga 8. En annan möjlig hypotes kan vara närheten för komponenterna i VR jämfört i verkligheten. Att komponenterna i VR möjligtvis upplevdes svårare att nå fram till jämfört med i verkligheten och där av bidrog till vridning eller förflyttningar i den virtuella miljön.



Figur 25, Sidledsförflyttning

Vid montering av locket för drönaren verkade det skiljas åt i VR och i verkligheten. I VR valde testpersonerna oftast att montera locket med en hand, se figur 26, medan vid montering av locket i verkligheten valde testpersonerna att istället montera det med bägge händerna, se figur 21 och figur 22. En möjlig orsak till att detta kan skiljas åt kan vara att handkonsolen fungera som ett stöd för användaren. När testpersonen väl har greppat ett objekt i VR behöver inte användaren tänka mer på att hålla föremålet utan det blir mer handkonsolensuppgift att göra det. Ett stöd till detta argument är från enkätundersökningen där fler tal testpersoner upplevde att handkonsolen fungerade som ett stöd och gav även en mer bekväm handrörelse, se bilaga 8.



Figur 26, Montering av locket i VR

6. Slutsats

I detta avsnitt diskuteras vad slutsatsen blev genom att ge svar på frågeställningarna.

Den första frågeställningen: *“Hur använder företag VR i deras produktion? Kan VR hjälpa ta ingenjörbeslut?”*

Anses kunna besvaras utifrån intervjustudierna från företagen men även litteraturstudien som gjordes. Från litteraturstudierna kan VR användas inom olika områden och aspekter. Främsta användningsområden inom VR i produktion idag var följande:

- Prototypframtagning – VR kan användas till att utvärdera en prototyp av produkt. Faktorer som storlek kan verifieras i tidigt stadie, och säkerställas att prototypen fungerar i symbios med nuvarande lösning eller system.
- Test av nya anläggningar - Virtuella miljöer kan byggas upp för att upptäcka potentiella problem med bland annat layout. Med VR kan användaren delta i en realistisk miljö på nära håll.

Angående ingenjörbeslut visades VR vara till hjälp främst inom följande kriterier:

- Säkerhet – Produktionssystem kan fungera utan risk för skada på personal eller utrustning.
- Ergonomi – Säkerställa god räckvidd och bekväma arbetspositioner. Upptäckt under intervjustudier kunde ergonomi undersökas bland annat på en arbetsbänk för att placera verktyg och annan utrustning inom god räckvidd för montören. Med resultatet av mindre belastande positioner.

Företagen som intervjuades använde VR på olika sätt utifrån deras dagliga arbete. Även om företagen kan använda VR på olika sätt är det tydligt att tekniken fungerar som ett hjälpmedel för att kontrollera och utvärdera olika aspekter. Tekniken fungera som ett verifikations och utvärderings hjälpmedel för beslutsfattning. Utifrån intervjustudien ansågs VR kunna hjälpa till vid ingenjörbeslut. Dessa beslut kan vara olika men utifrån intervjuerna kan det handla om nåbarheten eller att testa om något går att utföra.

Från arbetes egen användarstudie kan det också konstateras att VR kan användas för att utvärdera användarupplevelsen och ergonomi.

Andra frågeställningen var formulerad följande. *“Hur skiljer sig den virtuella miljön mot verklig miljö i SII-labbet med avseende på aspekter som ergonomi och användarupplevelsen?”*

Anses kunna besvaras utifrån användarstudien som gjorts under projektets gång. Från användarstudien anses den virtuella miljön skiljas från den verkliga. Aspekter som ergonomi, utförandet och användarupplevelser verkar skiljas åt. Gällande ergonomi upptäcktes det att utförandet i VR ledde till större och mer överdrivna rörelser, jämfört med monteringen i fysisk miljö. Ytterligare observerades en mer lutande kroppshållning i den virtuella miljön jämfört med den verkliga.

Från användarupplevelsen i form av en enkät, uppgavs det av testdeltagarna att de upplevde behov av större rörelser och överkroppsböjande i VR. Något som framkom att bero på svårigheter av synlighet och placering av objekt i den virtuella miljön. Testpersonerna påpekade att det var svårt att veta om monteringen var rätt i den virtuella miljön, jämfört med den verkliga. Något som visade sig vara anledningen till de större och överdrivna rörelserna.

Vad det gäller visualiseringen av miljön tyckte testpersonerna att den virtuella miljön visualiserade den verkliga miljön på ett bra sätt gällande hur drönaren och arbetsbordet såg ut.

Vid montering i verkligheten och för mannekängerna i IPS verkar det skiljas åt gällande ergonomi och utförandet. För testdeltagarna framgick det mer böjningar i överdelskroppen jämfört med hur mannekängen i IPS gjorde det. Testpersonerna valde oftast att använda bägge händerna vid utförandet av arbetsmomentet jämfört med mannekängen i IPS som använde bara en hand.

Även om den virtuella miljön kan skiljas från den verkliga kan denna teknik fortfarande fungera som ett stöd i olika sammanhang, då tekniken utnyttjas med rätt förutsättningar. Med VR är det möjligt att utvärdera aspekter som ergonomi och säkerhet, därmed fungera som ett stöd i beslutsfattning.

Upptäckt under ergonomiundersökningen fanns vissa önskade funktioner för att underlätta monteringen i virtuell miljö. Detta var främst ”snapping” som förenklar monteringen i virtuella miljöer, en rekommendation för framtida utföranden av ergonomitester. Då detta annars kan leda till orealistiska överdrivna rörelser som svar till svårigheten av korrekt placering.

Baserat på intervjun med P. Mugur från Volvo fanns det även framtida intresse av att integrera aspekter från VR och AR. Något liknande Apple Vision goggles som finns idag. ”Att kunna vara i en 3D miljö samtidigt kunna uppleva verkligheten” som P. Mugur nämner. Integrationen mellan VR och AR diskuterades även med O. Siipilehto Karlsson som även ser detta som en intressant framtida utveckling.

7. Källförteckning

- [1] "Vad är Industri 4.0 och hur fungerar det?", SKYPLANNER, hämtad 2024-04-07 från <https://skyplanner.ai/sv/resurser/vad-ar-industri-4-0-och-hur-fungerar-det/>
- [2] "Virtual Reality Manufacturing: Use Cases for Productivity", Laughlin, D, EnterpriseVR. (2023, mars, 3), ARBORXR, hämtad 2024-05-07 från <https://arborxr.com/blog/virtual-reality-for-manufacturing-a-game-changer-for-productivity/>.
- [3] "SII-Lab - möjligheter för industrin och samhället", Stena Industry Innovation Lab, hämtad 2024 mars, från [SII-LAB – Stena Industry Innovation Lab](#)
- [4] "Praktisk övning inom industri 4.0", Stena Industri Innovation Lab, hämtad 2024-mars, från [Drönarfabriken – SII-LAB](#)
- [5] Batsila, M., Loannidis, G., Tsihouridis, C., & Vavougiou, D.,(2020). Virtual and Augmented Reality in Science Teaching and Learning. *SPRINGER LINK*. [Virtual and Augmented Reality in Science Teaching and Learning | SpringerLink](#).
- [6] Mallam, S.C., Nazir, S., & Renganayagalu, S.K., (2021). Effectiveness of VR Head Mounted Displays in Professional Training: A Systematic Review. *SPRINGER LINK*, 26, 999-1041. [Effectiveness of VR Head Mounted Displays in Professional Training: A Systematic Review | Technology, Knowledge and Learning \(springer.com\)](#)
- [7] Berce, A., Chen, X., Despeisse, M., Gong, L., & Johansson, B.,(2021). Implications of Virtual Reality on Environmental Sustainability in Manufacturing Industry: A Case Study. *ScienceDirect*, 104, 464-469. [Implications of Virtual Reality on Environmental Sustainability in Manufacturing Industry: A Case Study - ScienceDirect](#)
- [8] Dhanalakshmi, R., Latha, B., Mai, C.D., & Vijayaraghavan, N., (2021). AR and VR in Manufacturing. *SPRINGER LINK*, 171-183. [AR and VR in Manufacturing | SpringerLink](#)
- [9] Berglund, J., Fast-Berglund, Å., Börjesson, T., Gong, L., Johansson, B., & Wang, Z.,(2019). Development of virtual reality support to factory layout planning. *SPRING LINK*, 13, 935-945. [Development of virtual reality support to factory layout planning | International Journal on Interactive Design and Manufacturing \(IJIDeM\) \(springer.com\)](#)
- [10] Grawjewski, D, Gorski, F, Zawadzki, P & Hamrol, A (2013) Application of Virtual Reality Techniques in Design of Ergonomic Manufacturing Workplaces, *SCIENCEDIRECT*, 25, 289-301, [Application of Virtual Reality Techniques in Design of Ergonomic Manufacturing Workplaces - ScienceDirect](#)
- [11] S. Ekered, Personlig kommunikation, 25 april, 2024.
- [12] Industrial Path Solutions (2024), industrialpathsolutions, hämtad 2024, mars, från <https://industrialpathsolutions.se/#software>
- [13] Industrial Path Solutions 2024, User Manual Version 2023-R2, Sidor. 484, 605, 607, 609, 628, 634, 666, hämtad maj 13, 2024.

- [14] Li. Y, Delfs. N, Mårdberg. P, Bohlin. R & Carlson. J.S (2018) On motion planning for narrow-clearance assemblies using virtual manikins. SCIENCE DIRECT, 72, 790-795, [On motion planning for narrow-clearance assemblies using virtual manikins -](#)
- [15] Industrial Path Solutions (2024), industrialpathsolutions, hämtad 2024, mars, från <https://industrialpathsolutions.se/ips-imma>
- [16] Bohlin. R, Delfs. N, Hanson.L & Högberg. D (2012), Automatic Creation of Virtual Manikin Motions Maximizing Comfort in Manual Assembly Processes. RESEARCH GATE. [https://www.researchgate.net/publication/247777811 Automatic Creation of Virtual Manikin Motions Maximizing Comfort in Manual Assembly Processes](https://www.researchgate.net/publication/247777811_Automatic_Creation_of_Virtual_Manikin_Motions_Maximizing_Comfort_in_Manual_Assembly_Processes)
- [17] Gomez-Galan. M, Callejon-Ferre. A.J, Perez-Alonso. J, Diaz-Perez. M & Carillo-Castrillo. J.A (2020), Musculoskeletal Risks: RULA Bibliometric Review, Int J Environ Res Public Health, PubMedCentral, [Musculoskeletal Risks: RULA Bibliometric Review - PMC \(nih.gov\)](#)
- [18] Anacleto, P., Arezes, P.M., Borges, G.D., Cardoso, A., Carneiro, P., Colim, A., Goncalves, H., Mattos, D.,(2021). Assessment of Work-Related Musculoskeletal Disorders by Observational Methods in Repetitive Tasks-A Systematic Review. *SPRINGERLINK*, 455-463. [Assessment of Work-Related Musculoskeletal Disorders by Observational Methods in Repetitive Tasks—A Systematic Review | SpringerLink.](#)
- [19] Middlesworth. M, November 6, ERGOPLUS, hämtad 2024, april, 5 från [A Step-by-Step Guide to the RULA Assessment Tool \(ergo-plus.com\)](#)
- [20] Eriksson. A, Sedelius. E, Berglund. J & Johansson. B (2018), Virtual factory layouts from 3D laser scanning – A novel framework to define solid model requirements, Chalmers Universitet, [Virtual factory layouts from 3D laser scanning – A novel framework to define solid model requirements \(chalmers.se\)](#)
- [21] Industrial Path Solutions (2024), industrialpathsolutions, hämtad 2024, mars, från <https://industrialpathsolutions.se/ips-rigid-body-path-planner>
- [22] Cornell University Ergonomics Web, RULA Worksheet: RULA00 (cornell.edu), hämtad 2024-04-23, från [CUergo: RULA \(cornell.edu\)](#)

RULA Employee Assessment Worksheet

Complete this worksheet following the step-by-step procedure below. Keep a copy in the employee's personnel folder for future reference.

A. Arm & Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position

Step 1a: Adjust...
 If shoulder is raised: +1;
 If upper arm is abducted: +1;
 If arm is supported or person is leaning: -1
Final Upper Arm Score = 2

Step 2: Locate Lower Arm Position

Step 2a: Adjust...
 If arm is working across midline of the body: +1;
 If arm out to side of body: +1
Final Lower Arm Score = 1

Step 3: Locate Wrist Position

Step 3a: Adjust...
 If wrist is bent from the midline: +1
Final Wrist Score = 1

Step 4: Wrist Twist
 If wrist is twisted mainly in mid-range = 1;
 If twist at or near end of twisting range = 2
Wrist Twist Score = 1

Step 5: Look-up Posture Score in Table A
 Use values from steps 1, 2, 3 & 4 to locate Posture Score in table A
Posture Score A = 2

Step 6: Add Muscle Use Score
 If posture mainly static (i.e. held for longer than 1 minute) or:
 If action repeatedly occurs 4 times per minute or more: +1
Muscle Use Score = 1

Step 7: Add Force/load Score
 If load less than 2 kg (intermittent): +0;
 If 2 kg to 10 kg (intermittent): +1;
 If 2 kg to 10 kg (static or repeated): +2;
 If more than 10 kg load or repeated or shocks: +3
Force/load Score = 0

Step 8: Find Row in Table C
 The completed score from the Arm/wrist analysis is used to find the row on Table C
Final Wrist & Arm Score = 3

SCORES

Table A

Upper Arm	Lower Arm	Wrist			
		Wrist Flex	Wrist Ext	Wrist Rot	Wrist Tw
1	1	1	1	1	1
1	2	2	2	2	2
2	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	1
3	2	2	2	2	2
4	1	1	1	1	1
4	2	2	2	2	2
5	1	1	1	1	1
5	2	2	2	2	2
6	1	1	1	1	1
6	2	2	2	2	2

Table B

Neck	Trunk Posture Score					
	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs
1	1	2	1	2	1	2
1	2	1	2	1	2	1
2	1	2	1	2	1	2
2	2	1	2	1	2	1
3	1	2	1	2	1	2
3	2	1	2	1	2	1
4	1	2	1	2	1	2
4	2	1	2	1	2	1
5	1	2	1	2	1	2
5	2	1	2	1	2	1
6	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	1	2	1

Table C

1	2						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	2	3	4	5	6	7
2	2	3	4	5	6	7	8
3	3	4	5	6	7	8	9
4	4	5	6	7	8	9	10
5	5	6	7	8	9	10	11
6	6	7	8	9	10	11	12
7	7	8	9	10	11	12	13
8	8	9	10	11	12	13	14

B. Neck, Trunk & Leg Analysis

Step 9: Locate Neck Position

Step 9a: Adjust...
 If neck is twisted: +1; If neck is side-bending: +1
Final Neck Score = 1

Step 10: Locate Trunk Position

Step 10a: Adjust...
 If trunk is twisted: +1; If trunk is side-bending: +1
Final Trunk Score = 1

Step 11: Legs
 If legs & feet supported and balanced: +1;
 If not: +2
Final Leg Score = 1

Step 12: Look-up Posture Score in Table B
 Use values from steps 9, 10 & 11 to locate Posture Score in Table B
Posture B Score = 1

Step 13: Add Muscle Use Score
 If posture mainly static or:
 If action 4/minute or more: +1
Muscle Use Score = 1

Step 14: Add Force/load Score
 If load less than 2 kg (intermittent): +0;
 If 2 kg to 10 kg (intermittent): +1;
 If 2 kg to 10 kg (static or repeated): +2;
 If more than 10 kg load or repeated or shocks: +3
Force/load Score = 0

Step 15: Find Column in Table C
 The completed score from the Neck/Trunk & Leg analysis is used to find the column on Chart C
Final Neck, Trunk & Leg Score = 2

Final Score = 3

Subject: _____ Date: / / _____
 Company: _____ Department: _____ Scorer: _____

FINAL SCORE: 1 or 2 = Acceptable; 3 or 4 investigate further; 5 or 6 investigate further and change soon; 7 investigate and change immediately

Source: McAtamney, L. & Corlett, E.N. (1993) RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Applied Ergonomics*, 24(2) 91-99.

© Professor Alan Hedge, Cornell University, Feb. 2001

Bilaga 1, Egen RULA utvärdering på rörelse i IPS

RULA Employee Assessment Worksheet

Complete this worksheet following the step-by-step procedure below. Keep a copy in the employee's personnel folder for future reference.

A. Arm & Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position

 Step 1a: Adjust...
 If shoulder is raised: -1;
 If upper arm is abducted: +1;
 If arm is supported or person is leaning: -1
 Final Upper Arm Score = **3**

Step 2: Locate Lower Arm Position

 Step 2a: Adjust...
 If arm is working across midline of the body: +1;
 If arm out to side of body: +1
 Final Lower Arm Score = **2**

Step 3: Locate Wrist Position

 Step 3a: Adjust...
 If wrist is bent from the midline: +1
 Final Wrist Score = **2**

Step 4: Wrist Twist
 If wrist is twisted mainly in mid-range = 1;
 If twist at or near end of twisting range = 2
 Wrist Twist Score = **1**

Step 5: Look-up Posture Score in Table A
 Use values from steps 1, 2, 3 & 4 to locate Posture Score in table A
 Posture Score A = **4**

Step 6: Add Muscle Use Score
 If posture mainly static (i.e. held for longer than 1 minute) or:
 If action repeatedly occurs 4 times per minute or more: +1
 Muscle Use Score = **1**

Step 7: Add Force/load Score
 If load less than 2 kg (intermittent): +0;
 If 2 kg to 10 kg (intermittent): +1;
 If 2 kg to 10 kg (static or repeated): +2;
 If more than 10 kg load or repeated or shocks: +3
 Force/load Score = **0**

Step 8: Find Row in Table C
 The completed score from the Arm/Wrist analysis is used to find the row on Table C
 Final Wrist & Arm Score = **5**

SCORES

Table A

Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Twist
1	1	1	1
1	2	1	1
1	3	1	1
2	1	1	1
2	2	1	1
2	3	1	1
3	1	1	1
3	2	1	1
3	3	1	1
4	1	1	1
4	2	1	1
4	3	1	1
5	1	1	1
5	2	1	1
5	3	1	1
6	1	1	1
6	2	1	1
6	3	1	1
7	1	1	1
7	2	1	1
7	3	1	1
8	1	1	1
8	2	1	1
8	3	1	1

Table B

Trunk Posture Score	1	2	3	4	5	6
Legs	1	2	1	2	1	2
Neck	1	2	1	2	1	2
1	1	2	1	2	1	2
2	2	1	2	1	2	1
3	3	2	3	2	3	2
4	4	3	4	3	4	3
5	5	4	5	4	5	4
6	6	5	6	5	6	4

Table C

1	2	3	4	5	6	7
1	1	2	3	4	5	6
2	2	3	4	5	6	7
3	3	4	5	6	7	8
4	4	5	6	7	8	9
5	5	6	7	8	9	10
6	6	7	8	9	10	11
7	7	8	9	10	11	12
8	8	9	10	11	12	13
9	9	10	11	12	13	14
10	10	11	12	13	14	15

B. Neck, Trunk & Leg Analysis

Step 9: Locate Neck Position

 Step 9a: Adjust...
 If neck is twisted: +1; If neck is side-bending: +1
 Final Neck Score = **3**

Step 10: Locate Trunk Position

 Step 10a: Adjust...
 If trunk is twisted: +1; If trunk is side-bending: +1
 Final Trunk Score = **1**

Step 11: Legs
 If legs & feet supported and balanced: +1;
 If not: -2
 Final Leg Score = **1**

Step 12: Look-up Posture Score in Table B
 Use values from steps 9, 10 & 11 to locate Posture Score in Table B
 Posture B Score = **3**

Step 13: Add Muscle Use Score
 If posture mainly static or:
 If action 4 minutes or more: +1
 Muscle Use Score = **1**

Step 14: Add Force/load Score
 If load less than 2 kg (intermittent): +0;
 If 2 kg to 10 kg (intermittent): +1;
 If 2 kg to 10 kg (static or repeated): +2;
 If more than 10 kg load or repeated or shocks: +3
 Force/load Score = **0**

Step 15: Find Column in Table C
 The completed score from the Neck/Trunk & Leg analysis is used to find the column on Chart C
 Final Neck, Trunk & Leg Score = **4**

Final Score = 5

Subject: _____ Date: / / _____
 Company: _____ Department: _____ Scorer: _____

FINAL SCORE: 1 or 2 = Acceptable; 3 or 4 investigate further; 5 or 6 investigate further and change soon; 7 investigate and change immediately
 Source: McAtamney, L. & Corlett, E.N. (1993) RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Applied Ergonomics*, 24(2) 91-99.
 © Professor Alan Hedge, Cornell University, Feb. 2001

Bilaga 2, Person 1 RULA utvärdering i VR

RULA Employee Assessment Worksheet

Complete this worksheet following the step-by-step procedure below. Keep a copy in the employee's personnel folder for future reference.

A. Arm & Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position

 Step 1a: Adjust...
 Final Upper Arm Score = **1**

Step 2: Locate Lower Arm Position

 Step 2a: Adjust...
 Final Lower Arm Score = **2**

Step 3: Locate Wrist Position

 Step 3a: Adjust...
 Final Wrist Score = **3**

Step 4: Wrist Twist
 Wrist Twist Score = **1**

Step 5: Look-up Posture Score in Table A
 Posture Score A = **3**

Step 6: Add Muscle Use Score
 Muscle Use Score = **1**

Step 7: Add Force/load Score
 Force/load Score = **0**

Step 8: Find Row in Table C
 Final Wrist & Arm Score = **4**

SCORES

Table A

Upper Arm	Lower Arm	Wrist						
		Twisted	Neutral	Flexed	Extended			
1	1	1	2	2	2	3	3	3
2	2	2	2	2	3	3	3	3
3	3	3	3	3	3	4	4	4
4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9

Table B

Neck	Legs		Legs		Legs		Legs			
	1	2	1	2	1	2	1	2		
1	1	3	2	3	3	4	5	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	6	6	7	7
3	3	3	3	4	5	6	6	7	7	7
4	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8
5	5	6	6	7	7	8	8	8	8	8
6	6	6	6	6	7	8	8	8	8	8

Table C

1	2	3	4	5	6	7
1	1	2	3	4	5	5
2	2	2	3	4	4	5
3	3	3	3	4	4	5
4	3	3	3	4	5	6
5	4	4	4	5	6	7
6	4	4	5	6	6	7
7	5	5	6	6	7	7
8	5	5	6	7	7	7

B. Neck, Trunk & Leg Analysis

Step 9: Locate Neck Position

 Step 9a: Adjust...
 Final Neck Score = **3**

Step 10: Locate Trunk Position

 Step 10a: Adjust...
 Final Trunk Score = **2**

Step 11: Legs
 Final Leg Score = **1**

Step 12: Look-up Posture Score in Table B
 Posture B Score = **3**

Step 13: Add Muscle Use Score
 Muscle Use Score = **1**

Step 14: Add Force/load Score
 Force/load Score = **0**

Step 15: Find Column in Table C
 Final Neck, Trunk & Leg Score = **4**

Final Score = 4

Subject: _____ Date: / / _____
 Company: _____ Department: _____ Scorer: _____

FINAL SCORE: 1 or 2 = Acceptable; 3 or 4 investigate further; 5 or 6 investigate further and change soon; 7 investigate and change immediately

Source: McAtamney, L. & Corlett, E.N. (1993) RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, Applied Ergonomics, 24(2) 91-99.

© Professor Alan Hedge, Cornell University. Feb. 2001

Bilaga 3, RULA utvärdering på Person 1 i verklighet

RULA Employee Assessment Worksheet

Complete this worksheet following the step-by-step procedure below. Keep a copy in the employee's personnel folder for future reference.

A. Arm & Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position

 Step 1a: Adjust...
 Final Upper Arm Score = **3**

Step 2: Locate Lower Arm Position

 Step 2a: Adjust...
 Final Lower Arm Score = **1**

Step 3: Locate Wrist Position

 Step 3a: Adjust...
 Final Wrist Score = **1**

Step 4: Wrist Twist
 Wrist Twist Score = **1**

Step 5: Look-up Posture Score in Table A
 Posture Score A = **3**

Step 6: Add Muscle Use Score
 Muscle Use Score = **1**

Step 7: Add Force/load Score
 Force/load Score = **0**

Step 8: Find Row in Table C
 Final Wrist & Arm Score = **4**

SCORES

Table A

Upper Arm	Lower Arm	Wrist						
		Twisted	Twisted	Twisted	Twisted			
1	2	1	2	3	4			
1	1	1	2	2	2	3	3	3
1	2	2	2	2	3	3	3	3
2	1	2	3	3	3	4	4	4
2	2	3	3	3	3	4	4	4
3	1	3	4	4	4	4	5	5
3	2	4	4	4	4	4	5	5
4	1	4	4	4	4	5	5	5
4	2	4	4	4	4	5	5	5
5	1	5	5	5	5	6	6	6
5	2	5	5	5	5	6	6	6
6	1	6	6	6	6	7	7	7
6	2	6	6	6	6	7	7	7
7	1	7	7	7	7	8	8	8
7	2	7	7	7	7	8	8	8
8	1	8	8	8	8	9	9	9
8	2	8	8	8	8	9	9	9

Table B

Neck	Legs		Legs		Legs		Legs			
	1	2	1	2	1	2	1	2		
1	1	3	2	3	3	4	5	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	6	6	7	7
3	3	3	3	4	5	6	6	7	7	7
4	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8
5	5	6	6	7	7	8	8	8	8	8
6	6	6	6	6	7	8	8	8	8	8

Table C

1	2	3	4	5	6	7
1	1	2	3	4	5	5
2	2	2	3	4	4	5
3	3	3	3	4	4	5
4	3	3	3	4	5	6
5	4	4	4	5	6	7
6	4	4	5	6	6	7
7	5	5	6	6	7	7
8	5	5	6	7	7	7

B. Neck, Trunk & Leg Analysis

Step 9: Locate Neck Position

 Step 9a: Adjust...
 Final Neck Score = **2**

Step 10: Locate Trunk Position

 Step 10a: Adjust...
 Final Trunk Score = **1**

Step 11: Legs

 Final Leg Score = **1**

Step 12: Look-up Posture Score in Table B
 Posture B Score = **2**

Step 13: Add Muscle Use Score
 Muscle Use Score = **1**

Step 14: Add Force/load Score
 Force/load Score = **0**

Step 15: Find Column in Table C
 Final Neck, Trunk & Leg Score = **3**

Final Score = 3

Subject: _____ Date: / / _____
 Company: _____ Department: _____ Scorer: _____

FINAL SCORE: 1 or 2 = Acceptable; 3 or 4 investigate further; 5 or 6 investigate further and change soon; 7 investigate and change immediately

Source: McAtamney, L. & Corlett, E.N. (1993) RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, Applied Ergonomics, 24(2) 91-99.

© Professor Alan Hedge, Cornell University. Feb. 2001

Bilaga 4, RULA utvärdering på Person 2 i VR

RULA Employee Assessment Worksheet

Complete this worksheet following the step-by-step procedure below. Keep a copy in the employee's personnel folder for future reference.

A. Arm & Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position

 Final Upper Arm Score = **1**

Step 2: Locate Lower Arm Position

 Final Lower Arm Score = **2**

Step 3: Locate Wrist Position

 Final Wrist Score = **2**

Step 4: Wrist Twist
 Wrist Twist Score = **1**

Step 5: Look-up Posture Score in Table A
 Posture Score A = **2**

Step 6: Add Muscle Use Score
 Muscle Use Score = **1**

Step 7: Add Force/load Score
 Force/load Score = **0**

Step 8: Find Row in Table C
 Final Wrist & Arm Score = **3**

SCORES

Table A

	Upper Arm	Lower Arm	Wrist						
			Twisted	Neutral	Twisted	Neutral			
1	1	1	1	2	2	2	3	3	3
2	2	2	2	2	2	2	3	3	3
3	3	3	3	3	3	3	4	4	4
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

Table B

	1	2	3	4	5	6
Neck	1	2	1	2	1	2
Legs	1	2	1	2	1	2
Trunk	1	2	1	2	1	2
Posture	1	2	1	2	1	2

Table C

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	2	3	4	5	5
2	2	2	3	4	4	5	5
3	3	3	3	4	4	5	5
4	3	3	3	4	4	5	5
5	4	4	4	4	5	6	6
6	4	4	4	4	5	6	6
7	5	5	5	5	6	7	7
8	5	5	5	5	6	7	7

B. Neck, Trunk & Leg Analysis

Step 9: Locate Neck Position

 Final Neck Score = **2**

Step 10: Locate Trunk Position

 Final Trunk Score = **1**

Step 11: Legs
 Final Leg Score = **1**

Step 12: Look-up Posture Score in Table B
 Posture B Score = **2**

Step 13: Add Muscle Use Score
 Muscle Use Score = **1**

Step 14: Add Force/load Score
 Force/load Score = **0**

Step 15: Find Column in Table C
 Final Neck, Trunk & Leg Score = **3**

Subject: _____ Date: / / _____

Company: _____ Department: _____ Scorer: _____

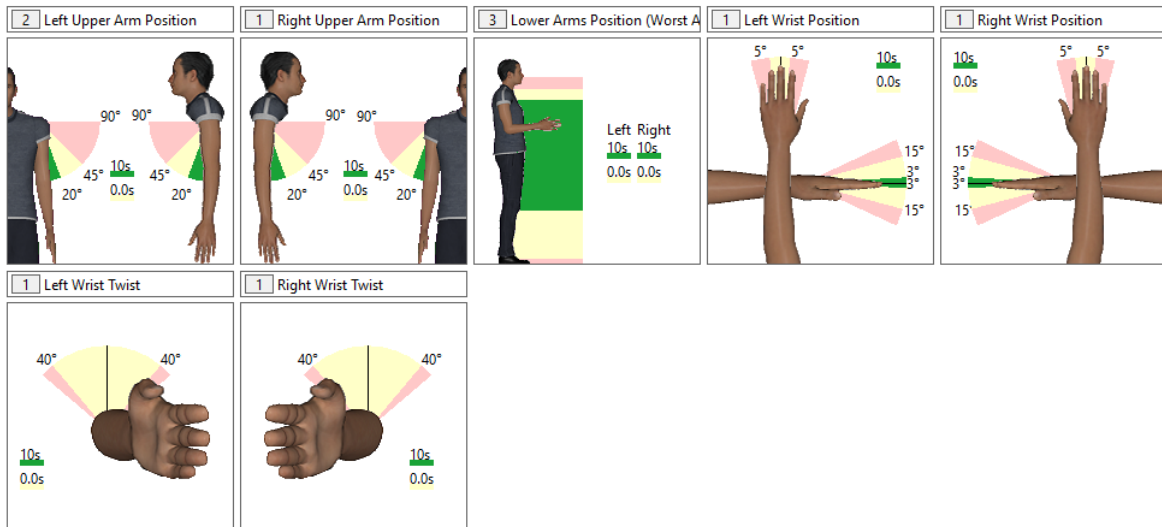
FINAL SCORE: 1 or 2 = Acceptable; 3 or 4 investigate further; 5 or 6 investigate further and change soon; 7 investigate and change immediately

Source: McAtamney, L. & Corlett, E.N. (1993) RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, Applied Ergonomics, 24(2) 91-99.

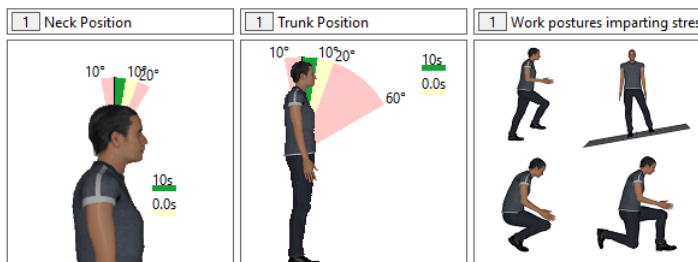
© Professor Alan Hedge, Cornell University, Feb. 2001

Bilaga 5, RULA utvärdering på Person 2 i verklighet

4 Group A: Arm and Wrist Analysis



1 Group B: Neck, Trunk and Leg Analysis



3 Grand RULA score

Bilaga 6, RULA utvärdering från IPS mjukvara

	Puranjay Mugar	Oliver Siipilehto Karlsson
Frågor		
Hur använder ni VR?	Används mer i Verifikation och validation i assemblys. Tex om något i simuleringen inte ser så verkligt så testar man det. Få en känsla hur det kan vara.	Produktutveckling till deras lean equipment som dem tillverkar. Utvärdering av visualiserings model, inte så mycket just simulering av data från en produktionslina, utan hur man vill vissa hur framtida produktion kan se ut. Rörliga layouter
Hur bra anser du att VR simulerar verkligheten och därmed bidra till att viktiga beslut kan tas?	Det beror på hur väl man modellerar modellen. Ju mer modellen liknar verkligheten desto bättre. Även programvaran kan vara omogen till verkligheten. Det hjälper i	Ganska bra, Till visualiseringar funkar det bra för att få grepp på avstånd, kan man gå runt en maskin o.s.v. Vid produkter är det problem då det inte går att

	<p>beslutsfattande. Folk från fabriken tillsammans med ingenjörer, där kan arbetsstationer upplevas i VR och man kan se olika parametrar t.ex höjden är inte okej, om något kolliderar med handen. Såna studier hjälper med beslutfattande.</p>	<p>dra i någonting. Interaktivitet med produkten är svårast.</p>
<p>Har ni ett exempel där ni märket att VR hjälpte er upptäcka fel i den virtuella miljön som kanske inte hade upptäckts annars i verkligheten?</p>	<p>Folket från fabriken var inte säkra om de kunde montera ihop en komponent utifrån ergonomin samt vilken vinkel det skulle vara. Utifrån simuleringen tog en vinkel fram. Folket från plant testade själva och insåg att det egentligen inte vara så farligt, alltså självaste monteringen.</p>	<p>Roboten som stod i ett exempel var för stora i VR, men i en 3D miljö (visual components) ser dem okej/rimliga då man inte direkt har ett perspektiv att utgå från.</p>
<p>Finns det några svårigheter inom det området som ni tillämpar VR idag med?</p>	<p>Det är bra att ha utrymme när man använder VR för att undvika att man kollidera med något i verkligheten. Även vilka som använder sig av VR. Det kan vara personer som för första gången använder sig av VR och då kan det lätt hända att fokuset försvinner i det som skulle göras.</p>	<p>Interaktiviteten med produkterna. I dagsläget kan man bara greppa produkterna men inte navigera den.</p>
<p>Vad är nästa steg med VR inom det området som ni tillämpar mest? Ser ni förbättringsmöjligheter inom detta område?</p>	<p>Att kunna kombinera olika tekniker med VR. Det kan vara att kombinera body tracking sensorer med VR. Även kunna på något sätt visualisera krafter och även utveckla fler ergonomi metoder. Men det finns svårigheter med att kombinera flera tekniker. Svårigheterna kan var att en mängd data som egentligen inte fyller någon funktion, t.ex oljud, tillkommer. För simulering av krafter skulle t.ex smart gloves kunna användas</p>	<p>Nästa steg med VR att kunna simulera händerna på ett bättre sätt och därmed kunna bryta ner det på detalj. Även införa mer ergonomi analyser.</p>
<p>Finns det andra potentiella användningsområde som ni tror VR kan hjälpa till hos ert företag som kanske inte finns nu?</p>	<p>Andra potentiella användningsområden med VR skulle kunna vara något likartad som apple pro. Att kunna vara i en 3D miljö men samtidigt kunna uppleva verkligheten.</p>	<p>Gällande andra potentiella användningsområden handlar det om att försöka få en mer symbios mellan AR och VR. Att på ett enkelt sätt kunna övergå från AR till VR eller tvärtom. Marknaden idag ser</p>

		ut vara begränsad med denna idé då det inte finns tillräckligt stora användningsområden.
--	--	--

Bilaga 7, Intervju sammanställning

	Person 1 svar	Person 2 svar	Person 3 svar	Person 4 svar	Person 5 svar
Frågor					
Nån skillnad på rörelse (generellt) i VR jämfört i Verkligheten?.	Skakigare i VR, inte så står skillnad i rörelse men mer känsla	Mer böjning och steg runt borden i VR	Man håller händerna på ett annat sätt, man visste inte om man tog ta i det i VR	Svårt att veta, då man inte tänkte på ergonomin. Lättare att hålla en stående ställning fysiskt i verkligheten. Om allt vara perfekt så skulle det vara mer bättre.	Svårare att komma åt och därmed mer böjning
Skillnad på avstånd mellan arbetsbänken och där man står i VR jämfört i verkligheten?.	I VR kändes det som man vara närmare. Man blev typ en del av bordet.	Arbetsbänken vara lite låg men inte långt ifrån	Ingen upplevelse pga att man var inne i tröjan	Bättre i VR, man kunde ändra avstånd mer. I VR fick jag möjlighet att röra mig runt och därmed hade inget som stoppade mig.	Svårare att komma åt i VR

Nån skillnad på hur monteringen gjordes i Verkligheten och i VR?.	I VR klickar det inte. Drönare var fast i VR. I verkligheten fick man hålla emot drönare för att placera benen	Snabbare i verkligheten för att man får en känsla av komponenterna i verkligheten. Man har inget ljud eller verifikation i VR	Ordningen vara samma, men inte noggrannheten. Man får inge feedback på om det klickar	I verkligheten hade man mer ordning kring vad man skulle vilja göra. Skönare handrörelse i VR än i verkligheten pga av handkonsolen	Svårare att hantera greppet i VR.
Visualiserar verkligheten i VR bra vid hänsyn till montering?.	Ja	Man kan tydligt se att det är en drönare och vart det ska placeras.	Ja, man förstod vad man skulle göra	Svårt att se hur fötterna till drönare skulle sitta	Båda ja och nej. Svårare att greppa i VR. Man förstår principen hur man ska montera den i VR
Kändes/ fanns det någon skillnad på hur överkroppen vara vid monteringen?.	Ville böja sig mer i och även göra mer rörelser i VR	Överkroppen böjdes mer i VR	Överkroppen ville luta mer i VR. Man sträckte på sig mer i VR	För överkroppen var den mer rakar i verkligheten än i VR.	Ja man böjdes mer pga lägre arbetshöjd i VR
Kändes/ fanns det någon skillnad på hur händerna/handlederna vara vid monteringen?.	Mindre vridning i VR. Man kunde gå igenom drönaren	Sådär, gjorde mer sidorörelser i VR och vände mer händerna i VR	Man vred inte händerna/handlederna så mycket i VR, utan hade mer en statiskt handrörelse i VR pga handkonsolen. I verkligheten vred man mer.	Handledes rörelsen skönare i VR pga konsolen	Mer finger rörelse i VR jämfört i verkligheten pga handkonsolen. Annan typ av fingerrörelse.

Kändes/ fanns det någon skillnad på hur armen vara vid monteringen?.	Rörelserna vara lite längre i VR	Armarna var utåt i VR. Lite större rörelser med armarna i VR	Ingen stor skillnad, förutom att drönaren ansågs var större i VR vilket gjorde att armarna rörde sig mer	Armarna vara närmre kroppen i verkligheten	Armarna var mer utstäckta i VR
Kändes/ fanns det någon skillnad på hur huvudet/nacken vara vid monteringen?.	I VR ville man kolla till vilket gjorde att nacken vreds eller lutades	Mer böjt i VR	Samma som i överkroppen. Nått mer att tilläga är att i verkligheten vara nacken lite mer vriden	I verkligheten var nacken mer skönare. Hjälmerna vara lite tung vilket drog ner ansiktet	När man lutade sig framåt så lutade huvudet sig också i VR
Är det nån skillnad med att montera en drönare i verkligheten jämfört i VR?.	Roligare och coolare i VR. Säkrare i VR då man inte kan bli skadad	Ja, man får ingen känsla i VR jämfört i verkligheten. Svårt att få en uppfattning av materialet (te.x om det är glansigt, plastiskt o.s.v)	Precisionen som man inte känner i VR och att man inte får en feedback om man har gjort rätt	Ja, Man får ingen verifikation att man gör rätt i VR	Lättare i verkligheten

<p>Övrigt som vill tillägas.</p>	<p>Kul</p>	<p>Bra arbete</p>	<p>Kul</p>	<p>Jättekul, Att göra VR först effektiviserade mitt arbete mer fysiskt. Det var en kul grej att göra först i VR vilket gjorde att man hade mer energi och göra det i verkligheten sen.</p>	<p>Det var roligt. När det är lättare uppgifter känns det mer relevant att göra det i verkligheten. Om det är farliga uppgifter så kan VR vara mer relevant.</p>
----------------------------------	------------	-------------------	------------	--	--

Bilaga 8, Sammanställning av svaren från experimentet

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH
MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2024
www.chalmers.se



CHALMERS