



CHALMERS

UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Utvärdering av ergonomisimulering

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Ekonomi och produktionsteknik

Marcus Bergqvist
Daniel Sandqvist

Examensarbete 2020

Utvärdering av ergonomisimulering

En jämförelse av IPS IMMA och Siemens Process Simulate Human

Marcus Bergqvist
Daniel Sandqvist



CHALMERS

Institutionen för industri- och materialvetenskap
Chalmers Tekniska Högskola
Göteborg, Sverige 2020

Utvärdering av ergonomisimulering
En jämförelse mellan IPS IMMA och Siemens Process Simulate Human
Marcus Bergqvist och Daniel Sandqvist

© Marcus Bergqvist
© Daniel Sandqvist

Handledare: Andreas Rudqvist, GKN Aerospace Engine Systems - Automation och
simulering
Examinator: Roland Örtengren, Industri- och materialvetenskap

Institutionen för industri- och materialvetenskap
Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg, Sverige
Telefon: +46 (0)31 772 10 00

Cover: Image of the tool exchange in a GROB 350 multioperationmachine in IPS IMMA
Typeset i Microsoft Word 2016
Göteborg, Sverige 2020

Sammanfattning

Dålig ergonomi skapar stora kostnader och problem inom industrin, där företag har mycket att vinna genom att minska problemen. Mjukvaror som kan visualisera och göra beräkningar på ergonomiska problem har funnits länge och har under de senaste åren genomgått en stor utveckling. Arbetets syfte har varit att utvärdera hur väl ergonomisimulering fungerar idag och om det är möjligt att upptäcka och förebygga ergonomiska problem.

IPS IMMA från Fraunhofer Chalmers Centre och Process Simulate Human från Siemens har utvärderats med hänsyn till användarvänlighet, analysmetoder, ytterligare funktioner och möjligheter med programmen. Sekvensen som simulerades var ett verktygsbyte till en fleroperationsmaskin där operatörer vid stationen tidigare upplevt ergonomiska problem.

Resultatet av arbetet har visat att det är möjligt att skapa realistiska simuleringar som kan påvisa brister i utformningen av arbetsplatser och med den informationen förbättra ergonomin för arbetare vid manuella arbetsmoment. Det har även visat att det är en tidskrävande process att optimera den här typen av simuleringar när dem skapas manuellt. Ett bättre alternativ att generera den här typen av simuleringar är med hjälp av Motion Capture då det går att erhålla mer exakta rörelser. Det är även viktigt att användaren samarbetar med ergonomer och har god kunskap om de olika analysmetoderna för att säkerställa att resultaten är pålitliga.

Abstract

Poor ergonomics results in huge costs and problems in the industry, and companies have much to gain by reducing the problems. Software that can visualize and analyze ergonomic problems has been around for a while and has undergone a great development in recent years. The aim of this thesis has been to evaluate how well ergonomic simulation works today and if it is possible to detect and prevent ergonomic problems with the help of ergonomic simulation.

IPS IMMA from the Fraunhofer Chalmers Center and Process Simulate Human from Siemens have been evaluated with regards to, ease of use, analysis methods, additional functions and possibilities with the programs. The sequence that was simulated was a tool change of a multioperation machine where operators at the station previously have experienced ergonomic problems.

The result of the work has shown that it is possible to create realistic simulations that can demonstrate problems in the design of workplaces and with that information it is possible improve the ergonomics for workers in manual workstations. It has also shown that it is a time consuming process to optimize these types of simulations when they are created manually. A better alternative to generate this type of simulations is by using Motion Capture which makes it easier to generate more accurate movements. It is also important that the user collaborates with ergonomists and has good knowledge about the different analysis methods to ensure that the results are reliable.

Förord

Vi vill börja med ett stort tack till GKN Aerospace Trollhättan för chansen att skriva det här examensarbetet inom ergonomisimulering. Arbetet har varit väldigt lärorikt och vi har fått en god inblick inom aerospace-industrin och fått träffa många trevliga människor inom organisationen.

Ett stort tack till Andreas Rudqvist som har varit vår handledare från GKN Aerospace som har hjälpt oss mycket med arbetet och även försett oss feedback samt korrekturläst rapporten. Vi vill även tacka Niclas Delfs och Peter Mårdberg från FCC för utbildning i IPS IMMA och konsultation i efterhand. Ett stort tack till Johan Nordling och Per-Olof Åberg från Siemens som trots den rådande Corona pandemin var mycket engagerade och behjälpliga med modelleringen och svarade på frågor angående Process Simulate Human. Vi vill även tacka övriga berörda inom GKN Aerospace som har hjälpt oss att besvara våra frågor.

Sist men inte minst vill vi ge ett stort tack till vår handledare på Chalmers tekniska högskola, Roland Örtengren som har hjälpt oss när vi har haft frågor och gett oss feedback på arbetet. Han har även läst igenom rapporten, gett oss feedback vilket har varit till stor hjälp.

Innehållsförteckning

1. INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Precisering av frågeställning	2
2. TEORI	3
2.1 Simuleringsmetodik	3
2.1.1 Problemformulering	3
2.1.2 Konceptmodell	3
2.1.3 Datainsamling	4
2.1.4 Modelluppbyggnad	4
2.1.5 Verifiering och validering	4
2.1.5.1 Vem som gör valideringen	5
2.1.5.2 Valideringsmetodik	5
2.1.6 Analys	6
2.1.7 Dokumentation	6
2.1.8 Implementation	7
2.2 Ekonomi kopplat till ergonomi	7
2.3 Arbetsprocess för ergonomisimulering	8
2.4 Motion Capture och Virtual Reality	9
2.5 Analysmetoder	10
2.5.1 RULA (Rapid Upper Limb Assessment)	11
2.5.2 NIOSH	14
2.5.3 OWAS	15
2.5.4 Static Strength Prediction Program (SSPP)	16
2.5.5 Field of View (DHM)	17
2.5.6 Reach envelopes (DHM)	17
2.5.7 Accessibility and clearance analysis (DHM)	17
2.5.8 Antropometri	18
2.5.9 Lower back analysis	18
2.5.10 Comfort analysis	18
3. METOD	19
3.1 Intervjuer	19
3.2 Litteraturstudie	19
3.3 Utbildning	19
3.4 Metodik för simuleringsprojekt	20
3.5 Jämförelse	20
4. GENOMFÖRANDE	21
4.1 Simuleringsprojektet	21
4.1.1 Problemformulering	21
4.1.1.1 Intervju med Håkan Arvidsson, företagshälsovården	21
4.1.1.2 Intervju med Jan Thorsell, Skyddsombud, IF Metall	22
4.1.1.3 Intervju med Carl Därnemyr, Produktionschef i X-verkstad	22
4.1.2 Konceptmodell	23
4.1.3 Datainsamling	23
4.1.4 Modellbyggande	23
4.1.4.1 Modell IPS IMMA	24
4.1.4.2 Modell Siemens Process Simulate Human	28

4.1.5 Verifiering och validering av modeller	30
4.1.6 Analys av simuleringar	30
4.1.7 Dokumentation	31
4.1.8 Implementation	31
5. RESULTAT	32
5.1 Simulering IPS IMMA	32
5.1.1 Validering	32
5.1.2 Ergonomianalys - RULA	32
5.1.3 Analys	33
5.1.4 Ytterligare funktioner	35
5.2 Simulering Process Simulate Human	36
5.2.1 Validering	36
5.2.2 Ergonomianalys - RULA	36
5.2.3 Analys	38
5.2.4 Ytterligare analysmetoder	39
5.2.5 Ytterligare funktioner	40
5.3 Ekonomiska och sociala aspekter	41
6. Diskussion	42
6.1 Utvärdering av Validering och verifiering	42
6.2 Utvärdering IPS IMMA	43
6.3 Utvärdering Process Simulate Human	44
6.4 Ergonimisimulering	45
6.5 För- och nackdelar med IPS IMMA och Process Simulate Human	46
6.6 Ekonomiska och sociala aspekter	46
7. Slutsats	47
8. Hållbarhet och etiska ståndpunkter	48
Referenser	49
Bilagor	53

1. INLEDNING

Examensarbetets inriktning handlar om att undersöka möjligheterna att med hjälp av ergonomisimulering förbättra ergonomin på GKN Aerospace.

1.1 Bakgrund

GKN Aerospace Engine Systems utvecklar, konstruerar och producerar komponenter med hög precision för jetmotorer. De geometriska kraven och toleranserna är kritiska för produktens funktion och pålitlighet. Stora delar av tillverkningen sker med hjälp av CNC-maskiner och industrirobotar, trots det finns det fortfarande många manuella stationer och arbetsmoment, där utformningen i dagsläget inte är optimalt utformad för operatörer med hänsyn till ergonomin. Det finns potential till förbättringsåtgärder inom detta område och nu vill GKN Aerospace undersöka om det är möjligt att använda sig av ergonomisimulering för att förbättra ergonomin för operatörerna. Enligt Arvidsson (2020), skyddsingenjör på företagshälsovården, finns det statistik på att 125 personer sökte vård för arbetsrelaterade förslitningsskador under 2019 på GKN Aerospace i Trollhättan. Arvidsson (2020) spekulerade även i att det kan finnas ett mörkertal som ej rapporteras vilket skulle tyda på att problemet är utbrett. Enligt Arvidsson (2020) är det i nacke, axlar och handleder de vanligaste besvären uppstår.

Enligt Rudqvist (2020) initieras utformning av en ny station, köp av ny maskin eller robotcell, genom att en anskaffningsgrupp sätts ihop som har till uppgift att undersöka allt som har med den nya arbetsplatsen att göra. I gruppen skall det finnas med ett skyddsombud, en ergonom och personal från företagshälsovården, men om så ej är fallet skall dessa personer tillfrågas gällande layout, tänkt arbetssätt i och kring den nya stationen. Enligt Thorsell (2020), skyddsombud på företaget, utgår de från tidigare erfarenheter och uppskattningar vid utformning av en ny arbetsplats. I dagsläget görs det begränsat med analyser som fokuserar på ergonomin. Det utförs däremot kontinuerliga skyddsronder där operatörerna får möjligheten att lyfta fram problem de upplever. Företagshälsovården medverkar ej i de här skyddsronderna utan kopplas endast in när problem uppstått, där det i efterhand görs någon form av analys eller utvärdering.

Det finns ett utbrett intresse från GKN Aerospace att använda sig av ergonomisimuleringar vid utformningen av nya arbetsstationer för att kunna analysera arbetsmoment i ett tidigt skede och förebygga problem innan de uppstår. Enligt Thorsell (2020) är det viktigt undersöka möjligheterna att även kunna förbättra befintliga arbetsstationer med hjälp av ergonomisimulering.

1.2 Syfte

Syftet med uppdraget är att undersöka om de mjukvaror som finns för ergonomisimulering passar även för de manuella operationer/stationer som finns på GKN Aerospace Engine Systems. Om det är möjligt att i ett tidigt stadie, vid nyanskaffning, samt vid problem eller ombyggnation av befintliga stationer förebygga och/eller upptäcka arbetsmoment med dålig ergonomi.

Två olika simuleringsmjukvaror, som redan används på företaget i andra applikationer, ska utvärderas och jämföras mot varandra för att avgöra vilken som passar behoven på GKN Aerospace bäst. Ekonomiska och sociala effekter kopplat till ergonomi ska även undersökas och användas som underlag vid en eventuell investering.

1.3 Avgränsningar

Områden som inte behandlas i projektet:

- Uppdraget innefattar inga lösningsförslag till ergonomiska problem.
- Uppdraget syftar inte till att utforma nya arbetsinstruktioner.
- Uppdraget ska ej kartlägga vilka arbetsmoment eller stationer som är skadliga eller farliga för operatören ur ergonomisynpunkt.
- Endast IPS IMMA från FCC och Process Simulate Human från Siemens skall utvärderas och jämföras.

1.4 Precisering av frågeställning

Frågor som skall besvaras under projektet.

- Kan GKN Aerospace med hjälp av ergonomisimulering, upptäcka och undvika ergonomirelaterade problem vid manuella arbetsmoment?
- Vad blir den ekonomiska och sociala konsekvensen av att utföra ergonomisimulering?
- Går det att effektivisera processen för utformningen av nya arbetsplatser ur ergonomisk synpunkt med hjälp av ergonomisimulering?
- Går det i ett tidigt skede avgöra om arbetsplatsen är bra eller dåligt utformad?

2. TEORI

2.1 Simuleringsmetodik

Nedanstående steg och riktlinjer ingår i de flesta simuleringsprojekt och karaktäriseras av tre huvudsteg, tolkning, utveckling och analys (Musselman, 1994). Simuleringsprocessen innehåller generellt sett följande steg: Problemformulering, konceptmodell, datainsamling, modelluppbyggnad, verifiering och validering, analys, dokumentation och implementation (Musselman, 1994). Genom att följa dessa steg ökar chanserna att lyckas med ett simuleringsprojekt. Viktigt att ha i åtanke är att vissa steg i processen kan behöva initieras tidigare än i den ordningen som presenteras, samt upprepas under processen (Musselman, 1994).

2.1.1 Problemformulering

I början av ett simuleringsprojekt är det viktigt att föra en dialog med kunden och lyssna på deras problem, samt klargöra vad de vill uppnå med projektet (Ulgen, Black, Johnsonbaugh & Klungle, u.å.). I inledningen av ett projekt bör ett samtal föras med kunden för att komma överens om projektets omfattning, mål, frågeställning samt in- och utdata för att tydligt förstå vad kunden vill ha och hur projektet ska fortgå. Bristande kommunikation är en av de vanligaste anledningarna till att projekt misslyckas, det är därför viktigt med omfattande kommunikation under hela projektets gång för att undvika missförstånd och frustration (Musselman, 1994). Det är viktigt att ha ett tydligt definierat problem utifrån kundens önskemål för att sedan säkerställa att rätt lösning utvecklas för rätt problem (Musselman, 1994).

2.1.2 Konceptmodell

Den här delen av processen handlar om att överföra det tänkta systemet som skall simuleras till en modell i enlighet med problemformuleringen (Musselman, 1994). Tydliga mål skall definieras som ligger till grund för det fortsatta arbetet. En metodik som används för att åstadkomma det här kallas "Backward Pass" vilket innebär att formuleringen av modellen sker baklänges och innehåller flera olika steg. Först är det viktigt att förstå miljön kopplat till det som skall simuleras genom att göra iakttagelser i det verkliga systemet (Nordgren, 1995). Nästa steg är att identifiera nyckelfrågor som är kopplade till de uppsatta målen, samt att utvärdera de olika frågornas vikt och prioritera därefter. Definiera sedan den utdata som ska erhållas från modellen för att kunna besvara och prioritera de frågor som är viktigast. Fortsätt sedan med att avgränsa modellen för det specifika ändamålet för att specificera den slutgiltiga modellen (Musselman, 1994).

2.1.3 Datainsamling

Datainsamling kan vara en tidskrävande process och det är därför viktigt att tidigt i projektet göra upp en plan över vilken data som ska användas och hur den ska införskaffas (Ulgen et al, u.å). När data samlats in skall den analyseras och en bedömning skall ske huruvida den fortfarande är aktuell för systemet samt om det är rätt data för projektets omfattning (Musselman, 1994). Detaljrikedom och exakthet på relevant data bör även undersökas för att säkerställa att resultatet av simuleringen blir opartiskt och representativt för det verkliga systemet (Nordgren, 1995). Om nödvändiga data inte finns tillgänglig kan antaganden göras utifrån egna uppskattningar eller i samråd med individer som besitter djupare kunskap inom systemet. Antaganden bör kontinuerligt utvärderas och ifrågasättas under projektets gång för att sedan slutligen valideras (Nordgren, 1995; Musselman, 1994).

2.1.4 Modelluppbyggnad

I processen för simuleringsprojekt tenderar allt för stort fokus ligga på modellbyggandet istället för att rikta mer fokus på själva problemlösningen. Rekommendationer riktas istället till att införskaffa mer insikt i problemformuleringen och olika möjliga lösningar (Musselman, 1994). Initialt skall modellen fånga upp grunderna i systemet samt den logik som skall simuleras för att sedan kunna lägga till mer detaljerad information (Nordgren, 1995). En annan viktig aspekt att ta hänsyn till är valet av mjukvara som skall användas vid uppbyggnaden av modellen (Norman, & Banks, 1998). Enligt Norman & Banks (1998) skall hänsyn tas till programmets prestanda, tiden det tar att simulera och noggrannhet hos de ingående verktygen. Utöver dessa faktorer är det viktigt att utvärdera den tekniska support som är möjligt att få, kvalitén på dokumentationen samt hur ofta programvaran uppdateras med nya funktioner (Norman, & Banks, 1998).

2.1.5 Verifiering och validering

Vid skapandet av en simuleringsmodell är det viktigt att kontrollera att modellen och dess utdata är korrekt då användare kan komma att fatta beslut utifrån modellens resultat. För att säkerställa att korrekt data erhålls skall simuleringsmodellen valideras och verifieras (Sargent, 2004). Verifiering av en simuleringsmodell innebär en kontroll av hur väl modellens utformning stämmer överens med den konceptuella modellen, det vill säga hur väl den tänkta utformningen står sig mot den faktiska utformningen (Davies, 1992). Validering av en simuleringsmodell innebär att modellen och dess utdata jämförs med det verkliga systemet för att säkerställa att den stämmer bra överens med verkligheten (J. Berglund, personlig kommunikation 15 november, 2019).

Det är viktigt att påpeka att alla parametrar i en modell sällan kan stämma överens med verkligheten helt och hållet. Ju mer exakt en modell utvecklas desto mer tid och pengar krävs, och ofta kan tillfredställande resultat fås även om modellen avviker en del från verkligheten på vissa punkter (Robinson, 1997; Sargent, 2004). En simuleringsmodell bör utvecklas utifrån det specifika syftet med simuleringsprojektet, och huruvida modellen sedan kan valideras styrs av hur väl modellen uppfyller syftet. Beroende på frågeställningen som ska besvaras av simuleringen är olika parametrar och data intressanta. Endast de parametrar och data som är intressanta och påverkar simuleringens syfte och frågeställning bör beaktas när simuleringsmodellen valideras.

En modell kan därmed valideras trots att vissa parametrar och data avviker från verkligheten under förutsättning att de intressanta parametrarna och relevant data stämmer tillräckligt bra överens med verkligheten (Sargent, 2004). När validering av en simuleringsmodell utförs är det ofta ett iterativt arbete där modellen förbättras, testas och utvärderas tills önskat resultat uppnås i linje med problemformuleringen (Sargent, 1982, 1984).

2.1.5.1 Vem som gör valideringen

Sargent (2004) beskriver att det finns fyra olika angreppssätt för att avgöra huruvida en simuleringsmodell kan ses som validerad eller ej. De olika angreppssätten kräver att de som utvecklar modellen utför validering och verifiering redan under utvecklingsprocessen. De fyra olika angreppssätten som tas upp är: de som utvecklar modellen själva utför valideringen, den slutliga användaren utför valideringen, oberoende validering från utomstående samt användning av en poäng-modell (Sargent, 2004).

Det vanligaste angreppssättet som används är att de som utvecklat modellen själva utför valideringen. Här görs en subjektiv bedömning utifrån resultat från tester och utvärderingar som är en del av utvecklingsprocessen. Sargent (2004) påpekar dock att det finns bättre angreppssätt beroende på hur den aktuella situationen ser ut. Rör det sig om en mindre simuleringsgrupp kan det vara bättre att låta de som ska använda sig av simuleringsmodellen utföra valideringen. Det gör att resultatet blir mer trovärdigt då utvecklarnas partiskhet inte beaktas i samma utsträckning (Sargent, 2004). Ett annat angreppssätt är att använda sig av en oberoende part för valideringen. Det är ett bra angreppssätt när det rör sig om storskaliga simuleringsmodeller där utvecklarna består av olika grupper. Det är viktigt att den oberoende parten har en djup förståelse och kunskap om simuleringens syfte för att valideringen ska bli trovärdig (Sargent, 2004). Vid användandet av en oberoende part för validering finns det två olika tillvägagångssätt. Det första är att den oberoende parten ständigt ger info under utvecklingsprocessen och inte tillåter att utvecklingen går till nästa steg förrän modellen är tillräckligt bra. Det andra är att den oberoende parten endast validerar modellen när den är helt färdigutvecklad. Det sista angreppssättet är att använda sig av en poängmodell för att validera en simuleringsmodell. Poängen bestäms subjektivt utifrån förutbestämda kriterier och ger sedan en totalpoäng för varje kategori som bedömts. Sedan summeras poängen för varje kategori ihop till en totalpoäng som jämförs med ett förutbestämt gränsvärde för att avgöra om modellen är tillräckligt bra eller inte (Sargent, 2004).

2.1.5.2 Valideringsmetodik

Robinson (1997) beskriver fyra olika metoder för validering och verifiering. De olika metoderna som tas upp är följande: Validering av den konceptuella modellen, validering av data, verifiering och white-box validering samt black-box validering.

För att utforma en konceptuell modell behöver modellens utvecklare skapa sig en djup förståelse och kunskap om de moment som ska simuleras och de olika problemen som behöver lösas. Den kunskapen fås vanligtvis genom datainsamling och kommunikation med de som har en djup kunskap av det verkliga systemet (Robinson, 1997). När modellens utvecklare börjar bilda sig en uppfattning om det som ska simuleras utvecklas också individens konceptuella modell. Det kan dock uppstå en del missförstånd och det är viktigt att validera den konceptuella modellen. Det görs främst genom en jämförelse med projektspecifikationen och kommunikation med individer som har en djupare förståelse av det som ska simuleras (Robinson, 1997).

Den data som samlas in från det verkliga systemet och sedan används vid simuleringen bör undersökas när simuleringsmodellen valideras. Om den data som används är felaktig kan resultatet bli att modellen skiljer sig betydligt från verkligheten och därmed ger felaktiga resultat (Robinson, 1997). Individen som utför valideringen bör undersöka källan till data och utvärdera hur pålitlig den är samt om det finns några inkonsekvenser eller andra problem med den (Robinson, 1997).

Verifiering och white-box validering är två skilda metoder, som hänger ihop då båda utförs kontinuerligt under simuleringsarbetets gång. Robinson (1997) beskriver två olika metoder för verifiering och white-box validering som är följande: visuell inspektion samt inspektion av rapporter på utdata. Vid visuell inspektion körs modellen och dess rörelser och logik jämförs med det verkliga systemet. Ofta involveras även personer med djupare kunskaper inom simuleringsobjektet för att få input om hur väl simuleringen stämmer överens med verkligheten (Robinson, 1997). Ytterligare en metod vid verifiering och white-box validering är att inspektera rapporter av utdata. Simuleringen körs och den utdata som fås jämförs med det verkliga systemet för att se hur väl den simulerade utdata står sig mot verkligheten (Robinson, 1997).

Black-box validering innebär att en undersökning av simuleringsmodellen utförs på ett mer övergripande plan där fler parametrar beaktas (Robinson, 1997). Robinson (1997) beskriver två olika metoder för black-box validering. Den första metoden är att jämföra modellen med det verkliga systemet och kontrollera att både in- och utdata stämmer överens med varandra. Det är viktigt att jämföra spridning och medelvärde av data för att modellen ska få förtroende (Robinson, 1997). Den andra metoden är att jämföra modellen med andra modeller vilket är bra när det inte finns tillräckligt med data från det verkliga systemet. Modeller som används i jämförelsen kan vara av matematiskt format eller modeller med liknande förutsättningar och utseende (Robinson, 1997).

2.1.6 Analys

Analysen innefattar bland annat en utvärdering av den utdata som simuleringen genererat, samt förslag till förbättringsåtgärder (Musselman, 1994). Det är viktigt att all utdata ifrågasätts, likaså att modellen kan förklaras utan att gå in på tekniska detaljer. En jämförelse mellan utdata och vad kunden efterfrågat skall också göras (Musselman, 1994). För att säkerställa att utdata blir så sanningsenlig som möjligt bör flera simuleringar utföras för att erhålla ett trovärdigt resultat (Norman & Banks, 1998).

2.1.7 Dokumentation

Ett simuleringsprojekt bör frekvent dokumenteras där det kronologiskt visas vad som har gjorts, vilka beslut som fattats och hur projektet ligger till i förhållande till projektplanen. Genom att dokumentera arbetet synliggörs ofta missförstånd mellan uppdragstagaren och kunden i ett tidigt skede, och då är det enklare att åtgärda problemen (Musselman, 1994). En vanlig fallgrop är att fokus ofta ligger på att ge kunden den information som kunden vill ha snarare än informationen som är viktigast (Norman & Banks, 1998). Dokumentationen gör det även lättare för kunder och mindre insatta individer att sätta sig in i arbetet och följa utvecklingen (Musselman, 1994). Dokumentationen är en viktig faktor till ett framgångsrikt simuleringsprojekt och är ett bra medel för att skapa entusiasm för projektet (Musselman, 1994).

2.1.8 Implementation

För att lyckas med implementeringen av ett simuleringsprojekt måste alla deltagare förstå sin roll i gruppen och ett bra samarbete mellan individerna är nödvändigt för att utnyttja deras kompetens till fullo (Musselman, 1994). Som projektledare är det viktigt att se till att beslutsfattare och processägare är delaktiga i arbetet från början och låta dem komma med synpunkter på projektet samt säkerställa en god förståelse för förväntningarna. Uppstår det tecken på att projektet har låg prioritering, som att information dröjer eller svårigheter att komma i kontakt med individer, bör beslutsfattarna omgående informeras för att lösa problemen (Musselman, 1994). Blir projektet lyckat kan det resultera i förändringar hos kunden som i sin tur kan skapa motvilja från företagets anställda om de inte gillar förändringen. Vid en sådan situation är det nödvändigt att sälja in fördelarna med de potentiella förbättringarna och låta alla vara delaktiga för att öka motivationen till förändringen (Musselman, 1994). Det är viktigt att de som utvecklat simuleringsmodellen finns tillgängliga för att hjälpa kunden vid behov en period efter att projektet är slutfört (Norman, & Banks, 1998).

2.2 Ekonomi kopplat till ergonomi

Dåligt utformade arbetsplatser leder ofta till förslitningsskador samt ökad skaderisk och kan resultera i sjukskrivningar på både lång- och kort sikt (Berlin & Adams, 2017). Sjukskrivningar relaterade till ergonomiska belastningsskador uppgår till ca 600 miljoner arbetsdagar per år inom EU (Lämkull, Berlin & Örtengren, 2008).

Det är vanligt att företag endast arbetar reaktivt med ergonomi och inte agerar för att förhindra problem förrän de uppstått istället för att arbeta proaktivt genom att minska risken att problem uppstår från början. En anledning till det är att det ofta kan vara svårt att få en siffra på vad de ergonomiska problemen faktiskt kostar och huruvida förebyggande åtgärder lönar sig ekonomiskt (Berlin & Adams, 2017). De flesta ergonomiska problem som uppstår inom produktionen i en fabrik är ett resultat av designen på produkterna och dess kringliggande arbetsinstruktioner (Berlin & Adams, 2017). Designen av en produkt och dess arbetsinstruktioner är något som ofta görs långt innan produkten börjar produceras. Problemen kan därmed hanteras redan i planeringsstadiet innan det har blivit ett verkligt problem. Att arbeta mer proaktivt med ergonomi och lösa problemen innan de uppstår är ett bättre alternativ då det är både billigare och lättare att göra ändringar i ett tidigt skede (Berlin & Adams, 2017).

Berlin & Adams (2017) beskriver att ergonomiska problem inte bara för med sig ekonomiska kostnader för företaget, utan att kostnaderna kan delas upp i tre olika kategorier; kostnader för samhället, kostnader för individer och kostnader för företaget. Samhället påverkas genom att det blir ett högre tryck på sjukvården, men även att ersättning betalas ut till personer med arbetsskador genom försäkringskassan (Arbetsmiljöverket, 2010; Berlin & Adams, 2017).

Kostnader för individen som är relaterade till ergonomiska problem är många. En person som utsätts för dålig ergonomi kan uppleva fysisk smärta och lidande som sedan kan resultera i sjukskrivning. Sjukskrivning leder till en lägre inkomst och det kan även uppstå sjukvårdskostnader för individen (Berlin & Adams, 2017).

Resultatet av dålig ergonomi och sjukskrivning kan även medföra psykologiska problem för individer som resultat av en sämre ekonomisk situation, minskad social stimulans, missade utvecklingsmöjligheter och ett påverkat privatliv. Den kumulativa effekten kan även leda till depression i vissa fall (Berlin & Adams, 2017).

Ergonomiska problem kan resultera i flera negativa konsekvenser för företag. En anställd som är sjukskriven kostar företaget pengar då lön och arbetsgivaravgifter måste betalas ut även när individen inte kan jobba. Sjukskrivningar kan leda till att övriga anställda behöver jobba övertid och det kan bli nödvändigt att hyra in personal för att hålla produktionen uppe (Berlin & Adams, 2017). Dålig arbetsmiljö kan leda till att anställda söker sig till andra arbetsgivare i en högre utsträckning och leder därmed till en högre personalomsättning för företaget (Samuelsson & Andersson, 2002). En hög personalomsättning för med sig kostnader via rekryteringsprocesser, upplärning och administrativt arbete, men även minskad produktivitet då ny personal ofta inte jobbar i samma takt som mer erfaren personal (Rose & Orrenius, 2006; Berlin & Adams, 2017). Ergonomiska problem kan även sänka produktiviteten genom att motivationen hos personalen minskar samt att personal jobbar även om dem har ont, så kallad presenteeism (Ström, 1990; Lowe, 2003).

Det kan uppstå kostnader för bristande kvalitet på grund av ergonomiska problem. Ca 30–50% av kvalitetsbrister kan kopplas till underliggande ergonomiska problem (Lämkuill, Berlin & Örtengren, 2008; Berlin & Adams, 2017). Fel uppstår i större utsträckning när en individ har ont, är trött eller står i en obekväm situation (Falck, Örtengren & Högberg, 2009). Sjukskrivningar, lägre produktivitet och ökad personalomsättning kan även det resultera i en ökad stress hos anställda som i kombination med oerfaren personal kan öka risken för kvalitetsbrister (Berlin & Adams, 2017). Falck et al. (2009) har utfört en åtta veckor lång studie på ett fordonstillverkande företag där de identifierade 13 435 st kvalitetsbrister kopplade till den ergonomiska belastningen. Felen delades upp på stationer med olika hög belastning och kostade i genomsnitt 167,36 SEK/fel vid hög belastning, 127,05 SEK/fel vid medelhög belastning och 57,95 SEK/fel vid låg belastning med en totalkostnad på 1 798 541 SEK. Andra ergonomirelaterade problem som kan uppstå är juridiska kostnader om en anställd kräver skadestånd för en arbetsskada men även att företagets goodwill och rykte kan försämrats (Rose & Orrenius, 2006; Berlin & Adams, 2017).

2.3 Arbetsprocess för ergonomisimulering

Arbete med ergonomisimulering är komplext och kräver att experter inom olika områden samarbetar med varandra (Lockett et al., 2005). Volvo Cars har arbetat med ergonomisimulering i över tio år och har upplevt att det är tidskrävande process att samla in information och skapa simuleringar, vilket har resulterat i att få simuleringar har utförts (Dukic et al., 2002; Blomé et al., 2003). Volvo har under åren förbättrat processerna och enligt simuleringsingenjörerna är formaliseringen av ergonomiska forum, standardiserade web-baserade formulär för order och rapportering de två viktigaste processförbättringarna (Lämkuill, Örtengren & Malmsköld, 2008).

Ett möte där simuleringsingenjörer, kunder, ergonomer och ibland montörer diskuterar ergonomiska problem kallas för ett ergonomiskt forum. Ett ergonomiskt forum hjälper simuleringsingenjörerna att förstå vad de ska simulera på ett bättre sätt genom att kommunicera med personer som har bättre koll på det som ska simuleras (Lämkuill et al., 2008).

Lämkull et al. (2008) beskriver att Volvo Cars har sina simuleringsingenjörer centralt placerade för att på så vis göra kommunikationsvägarna mer effektiva mellan dem samt att det gör det lättare för dem att lära sig av varandra. Nackdelen med centraliseringen är att det blir en längre kommunikationsväg mellan simuleringsingenjörerna och kunderna. En decentraliserad placering gör det lättare för simuleringsingenjörerna att sätta sig in i kundernas olika projekt och processer. Fördelarna med en centraliserad placering väger dock tyngre än de vid en decentraliserad och därför jobbar de på samma plats (Lämkull et al., 2008). Standardiserade web-baserade formulär för order och rapporter används för att det ska bli lättare för simuleringsingenjörer att få tillräckligt med information för att lyckas med arbetet. Lämkull et al. (2008) beskriver vidare att arbetet med standardiserade web-baserade formulär för order och rapportering delas upp i tre olika sektioner, order, rapportering och sökning.

I ordersektionen är det ett nära samarbete mellan simuleringsingenjören och kunden som ofta utgörs av en produktionsingenjör utan kunskap om simuleringsprogrammet. I den här sektionen är målet att identifiera vem kunden är och vad som ska simuleras. Det är här viktigt att kunden tydligt tillhandahåller den information som är relevant för simuleringen. Exempel på saker som bör nämnas är vilka CAD-modeller som behövs, deras placering, operatörens rörelsesekvens, vilka grepp som är aktuella, om operatören får luta sig mot objektet samt de olika mått och vikter som är relevanta (Lämkull et al., 2008). Listan kan göras lång, men det viktigaste är att tillräckligt med information tillhandahålls för att simuleringsingenjören ska förstå vad som ska simuleras. Annan information som behöver samlas in är, titel, kontaktuppgifter till kund, vilket projekt simuleringen hör till, vilken del av fabriken simuleringen utförs på och vilken av företagets avdelningar simuleringen hör till (Lämkull et al., 2008).

Rapporteringssektionen syftar till att presentera resultaten av simuleringarna. Här används ofta dokument i form av Powerpoint eller PDF som visar bilder, grafer och text som beskriver resultaten av simuleringarna. Här tas även diskussionen upp om huruvida fler analyser behöver göras på det som har stimulerats (Lämkull et al., 2008). Söksektionen består sedan av en databas där resultaten av simuleringarna sparas. Här går det lätt att söka upp information utifrån nyckelord som titel, projekt, namn på kund, datum, identifikationsnummer et cetera (Lämkull et al., 2008).

2.4 Motion Capture och Virtual Reality

Motion Capture (MC) och Virtual Reality (VR) är verktyg som kan användas för att registrera och visualisera rörelser för en operatör vid simuleringar (Keyvani, 2014; Berglund, 2019). Motion Capture är ett verktyg som registrerar mänskliga rörelser med hjälp av speciella kameror eller givare. I dagsläget finns det två olika system för Motion Capture som delas upp i aktiva och passiva. Det passiva systemet använder sig av kameror med en ljusring runt linsen. Reflektionen från ljuset fångas sedan upp och används för registrering av rörelsen (Keyvani, 2014). Individens rörelse ska registreras här på sig en dräkt med reflektorer placerade på olika kroppsdelar som reflekterar ljuset som sedan används för att beräkna rörelsen. Det aktiva systemet liknar det passiva men istället för reflektorer används självlysande markörer med olika frekvenser för att registrera rörelsen (Keyvani, 2014).

VR kan användas för att låta användaren befinna sig i och kontrollera en virtuell miljö och kan användas för att t.ex. visualisera ett arbetsmoment. Ett VR headset används för att visa vad t.ex. operatören ser och Motion Capture används för att registrera rörelsen i den virtuella miljön (Berglund, 2019). VR kan användas för träning av t.ex. operatörer innan en fysisk station finns på plats. Kostnader på grund av produktionsstopp minskar och att flera personer kan tränas samtidigt. Det är även möjligt att utvärdera ergonomin innan t.ex. en arbetsstation finns på plats i verkligheten (Berglund, 2019).

2.5 Analysmetoder

Simulering har blivit en viktig faktor i utvecklingen av nya produkter och produktionssystem (Lämkull et al., 2008). Digital Human Modeling (DHM) är en typ av simulering som är en virtuell presentation av en människa och används bland annat för att analysera ergonomin vid utformning av nya arbetsstationer. Operatören i den virtuella miljön kallas manikin och kan representera t.ex. en operatör i det verkliga systemet. Utöver ergonomianalyser finns många funktioner i de flesta DHM-programvaror. Det går att se om; en operatör kan utföra en arbetsinstruktion utan att kollidera med omgivningen, om operatören kan se allt som är av relevans och analysera olika rörelser (Lämkull et al., 2008).

Flera ergonomianalysverktyg kan implementeras i DHM-programvaror som bland annat används för att räkna på fysisk belastning, analysera olika kroppshållningar, utvärdera om en operatör kan nå och se det som är av relevans. Lämkull et al. (2008) delar upp dessa verktyg i tre olika kategorier:

- Kvantitativa utvärderingsverktyg
- Semi-kvantitativa utvärderingsverktyg
- Verktyg som utvärderar obekväma arbetspositioner, antropometri, prestationsförmåga hos en operatör samt, en persons kognitiva förmågor.

Kvantitativa utvärderingsverktyg används för att analysera och utvärdera kroppshållningar samt fysisk belastning. I DHM-programvaror är verktygen något förenklade och används som riktlinjer för vidare undersökning av både befintliga stationer men även vid utformning av nya, ofta i nära samarbete med ergonomer (Lämkull et al., 2008). Semi-kvantitativa utvärderingsverktyg används för att visualisera interaktionen mellan operatören och omgivningen där omgivningen presenteras av CAD-modeller. Verktygen analyserar operatörens synfält, räckvidd och kollisioner (Lämkull et al., 2008). Antropometri i den sista kategorin av verktyg använder olika percentiler av människor för att göra bekvämlighetsanalyser som fokuserar på hela kroppen, men också på specifika kroppsdelar. DHM-programvaran erhåller data på olika människor med avseende på; vikt, längd, styrka och kön som används vid dessa typer av analyser (Lämkull et al., 2008). Följande avsnitt beskriver några av de ingående verktygen i dessa tre grupper som används i DHM-programvaror.

2.5.1 RULA (Rapid Upper Limb Assessment)

RULA är ett verktyg för att identifiera risken för att över- och underarmar, handleder, nacke och rygg överbelastas i en viss arbetsposition. Genom att ange vilken kraft operatören utsätts för i kombination med vilken hållning operatören har, presenteras ett ”RULA värde” som talar om huruvida arbetspositionen är bra eller dålig samt om en förändring av arbetsinstruktionen behöver göras (Berlin & Adams, 2017).

RULA innehåller tre olika faser där den första kartlägger de ingående kroppsdelarnas olika positioner, den andra är systemet för poängsättningen av kroppsdelarnas positioner och den tredje är en mall för riskbedömningen som ger det sammanfattande RULA-värdet för arbetspositionen (McAtamney & Corlett, 1993). Metoden utvecklades av McAtamney & Corlett (1993) och deras artikel utgör grund för beräkningen i detta avsnitt.

Kroppen delas in i olika segment vilket tillsammans bildar två grupper som kallas A och B. I grupp A ingår över- och underarm samt handleder. I grupp B ingår nacke, rygg och ben. Varje kroppsdel i respektive grupp ges en poäng beroende på vilken position den erhåller. Poängen för överarmen beräknas enligt följande:

- 1 poäng för upp till 20 grader extension (utåtböjning, sträckning) eller 20 grader flexion (böjning).
- 2 poäng för extension högre än 20 grader eller 20–45 grader flexion.
- 3 poäng för 45–90 grader flexion.
- 4 poäng för 90 grader flexion.

Under vissa omständigheter kan poäng läggas till eller tas bort. Om axlarna är upphöjda eller om överarmen är utåtförd (abducerad) läggs en poäng till i den totala poängen, dvs 2 poäng om båda är uppfyllda. Om armen får stöd eller om personen lutar sig tas 1 poäng bort från den totala poängen.

Poängen för underarmen beräknas enligt följande:

- 1 poäng för 60 - 100 grader böjning.
- 2 poäng för mindre än 60 grader eller mer än 100 grader böjning.

Om underarmen befinner sig över midjan eller är en bit ut från kroppen läggs ytterligare 1 poäng för vardera situationen.

Poängen för handleden beräknas enligt följande:

- 1 poäng om den befinner sig i neutral position
- 2 poäng för 0–15 grader i både flexion och extension.
- 3 poäng för 15 grader eller mer i både flexion och extension.

Om handleden och böjs upp eller ner i från neutralläget i handflatans plan läggs 1 poäng till.

Handledsrörelsen poängsätts också med hänsyn till vridning (inåt- eller utåtrotation) och ser ut enligt följande:

- 1 poäng om handleden är vriden mittemellan neutral position och ändläge.
- 2 poäng om handleden är vriden nära ändläge.

TABLE A - Right									
Upper Arm	Lower Arm	Wrist							
		1		2		3		4	
		Wrist	Twist	Wrist	Twist	Wrist	Twist	Wrist	Twist
		1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	2	3	2	3	3	3	4	4
2	1	2	2	2	3	3	3	4	4
	2	2	2	2	3	3	3	4	5
	3	2	3	3	3	3	4	4	5
3	1	2	3	3	3	4	4	5	5
	2	2	3	3	3	4	4	5	5
	3	2	3	3	4	4	4	5	5
4	1	3	4	4	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	4	5	5
	3	3	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	7	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	7	8	8	8	8	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9

Figur 1: Tabell A från RULA-analysen i Process Simulate Human.

Liknande uppdelning görs i grupp B där individuell poängsättning för nacke, rygg och ben görs. Poängsättningen för de olika positioner nacken kan erhålla beräknas enligt följande:

- 1 poäng för 0–10 grader flexion.
- 2 poäng för 10–20 grader flexion.
- 3 poäng för 20 grader eller mer flexion.
- 4 poäng vid extension.

Om nacken är vriden läggs 1 poäng till, likaså om nacken är böjd åt sidan läggs ytterligare 1 poäng till.

Poängen för ryggen beräknas enligt följande:

- 1 poäng för sittandes, 90 grader mellan ben och höft.
- 2 poäng för 20 grader flexion.
- 3 poäng för 20–60 grader flexion.
- 4 poäng för över 60 grader flexion.

Om ryggen är vriden eller böjd åt sidan adderas 1 poäng för vardera situationen.

Utöver över- och underarm, nacke och rygg tas även hänsyn till vilken position benen kan ha och poängsättningen definieras på liknande sätt enligt följande:

- 1 poäng vid sittandes och vikten är jämnt fördelad mellan höger och vänster ben. Gäller även vid ståendes.
- 2 poäng om vikten mellan höger och vänster ben inte är jämn.

TABLE B												
Neck	Trunk											
	1 Legs		2 Legs		3 Legs		4 Legs		5 Legs		6 Legs	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

Figur 2: Tabell B från RULA-analysen i Process Simulate Human.

För att i ett senare steg kunna beräkna den totala RULA-poängen måste en totalpoäng från grupp A (armar och handleder) och grupp B (nacke, rygg och ben) beräknas som kommer representera den totala belastningen på de ingående kroppsdelarna i respektive grupp.

De olika kombinationerna presenteras i två olika tabeller som kallas A och B där poängsättningen för varje position av de olika kroppsdelarna går att utläsa (se figur 1 och 2). Utifrån tabellerna utläses en poäng för de ingående kroppsdelarna som sedan kombineras med muskelanvändning och kraften arbetet utförs med för att sedan presenteras som en totalpoäng för grupp A och B som kallas C respektive D.

Vid bedömningen av muskelanvändning och kraften behövs hänsyn tas till om arbetet är mestadels statiskt eller repetitivt. Om en av de ingående kroppsdelarna behåller sin position i mer än 1 minut och därmed är statisk läggs 1 poäng till grupp A, B eller båda.

Muskelanvändningen definieras som repetitiv om rörelsen upprepas mer än 4 gånger per minut och även då läggs 1 poäng till grupp A, B eller båda. Vad gäller kraften som används baseras poängsättningen beroende på vad objektet väger, dess storlek och hur operatören håller och förflyttar objektet. Enligt McAtamney & Corlett (1993) ser poängsättningen ut som följande:

- 0 poäng om belastningen är 2 kg eller mindre.
- 1 poäng om belastningen är 2–10 kg.
- 2 poäng om belastningen är mellan 2–10 kg och rörelsen är statisk eller repeterbar.
- 2 poäng om belastningen är över 10 kg och är periodisk.
- 3 poäng om belastningen är över 10 kg och rörelsen är statisk eller repeterbar.

Poängen för muskelanvändning och belastning bedöms för grupp A och B individuellt och adderas till en totalsumma för A respektive B som sedan kallas C och D.

TABLE C Right							
Final A Score	Final B Score						
	1	2	3	4	5	6	7+
1	1	2	3	3	4	5	5
2	2	2	3	4	4	5	5
3	3	3	3	4	4	5	6
4	3	3	3	4	5	6	6
5	4	4	4	5	6	7	7
6	4	4	5	6	6	7	7
7	5	5	6	6	7	7	7
8+	5	5	6	7	7	7	7

Figur 3: Tabell C från RULA-analysen i Process Simulate Human.

I det sista steget skall C och D kombineras till en RULA Grand-Score som är till för att användas som ett underlag för vidare undersökning av ett visst arbetsmoment. I tabell C presenteras olika kombinationer av C och D som sedan blir RULA Grand-Score (se figur 4). C kan anta värdet 1–8+ och D kan anta värdet 1–7+ (se figur 3). Den slutgiltiga poängen avläses sedan i tabell C och kan anta värdet 1–7 där olika åtgärder behöver vidtas beroende på vad poängen blir. Enligt McAtamney & Corlett (1993) delas åtgärderna upp i 4 nivåer beroende på vad RULA- poängen blir. Om poängen är 1–2 är det acceptabelt, 3–4 indikerar att vidare undersökning behövs, 5 eller 6 innebär att förändring behövs inom kort och om poängen är 7 behövs omedelbar förändring.

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

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

Step 3: Locate Wrist Position

Step 3a: Adjust...

If wrist is bent from the midline: +1

Step 4: Wrist Twist

If wrist is twisted mainly in mid-range: +1
If twist at or near end of twisting range: +2

Step 5: Look-up Posture Score in Table A

Use values from steps 1, 2, 3 & 4 to locate Posture Score in Table A

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

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

Step 8: Find Row in Table C

The completed score from the Arm/Wrist analysis is used to find the row on Table C

B. Neck, Trunk & Leg Analysis

Step 9: Locate Neck Position

Step 9a: Adjust...

If neck is twisted: +1
If neck is side-bending: +1

Step 10: Locate Trunk Position

Step 10a: Adjust...

If trunk is twisted: +1
If trunk is side-bending: +1

Step 11: Legs

If legs & feet supported and balanced: +1
If not: +2

Step 12: Look-up Posture Score in Table B

Use values from steps 9, 10 & 11 to locate Posture Score in Table B

Step 13: Add Muscle Use Score

If posture mainly static or:
If action 4 minutes or more: +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

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

SCORES

		Wrist					
		1	2	3	4	5	6
Upper Arm	1	1	2	3	4	5	6
	2	2	3	4	5	6	7
Lower Arm	1	1	2	3	4	5	6
	2	2	3	4	5	6	7
Wrist Twist	1	1	2	3	4	5	6
	2	2	3	4	5	6	7
Muscle Use	1	1	2	3	4	5	6
	2	2	3	4	5	6	7
Force/load	1	1	2	3	4	5	6
	2	2	3	4	5	6	7

Table B

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

Table C

	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

Final Score =

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

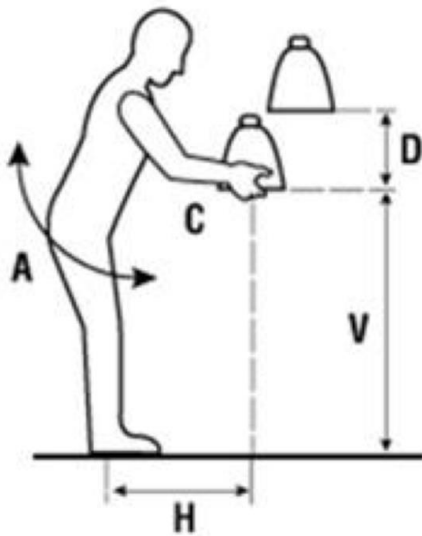
Figure 4: Rula Employee Assessment Worksheet. Cornell University (2001)

2.5.2 NIOSH

NIOSH metoden används för att adressera riskerna med manuella lyft och beskrivs av ekvationen ($RWL = LC \cdot HM \cdot VM \cdot DM \cdot AM \cdot FM \cdot CM$). RWL utgår från att en arbetare utan risk i genomsnitt kan lyfta 23 kg, som är vad Lifting Constant LC står för. Under ideala förhållanden får övriga faktorer i formeln värdet 1 och vid icke ideala förhållanden får faktorerna ett värde som är lägre än 1 och den acceptabla vikten reduceras enligt formeln (Berlin & Adams, 2017; Ergonomics plus inc, u.å). Utifrån RWL beräknas (Lifting Index = L/RWL) som används för att avgöra huruvida ett lyft utförs på ett korrekt sätt och om belastningen på arbetaren är acceptabel (Waters, Putz-Anderson, Garg & Fine, 1993). Metodiken är brett accepterad där flera industrier funnit NIOSH användbar för att identifiera problem och reducera risker kopplat till manuella lyft (Jäger & Luttman, 1999). Den primära utdata som erhålls från respektive formel är RWL och "Lifting Index". RWL står för "Recommended Lifting Weight" och talar om hur mycket vikt en arbetare klarar av att lyfta utan risk för skador. "Lifting Index" talar om hur signifikant risken är att en arbetare skadar sig. För att ett lyft skall vara acceptabelt bör Lifting Index vara mindre än 1.0 (Berlin & Adams, 2017; Ergonomics plus inc, u.å).

För att beräkna RWL & Lifting Index behövs följande variabler bestämmas (Ergonomics plus inc, u.å):

- HM = Det horisontella avståndet mellan objektet som skall lyftas och arbetaren.
- VM = Det vertikala avståndet mellan objektet och golvet.
- DM = Avståndet vertikalled som objektet förflyttas.
- AM = Graderna som arbetaren behöver vrida sig för att utföra lyftet.
- FM = Tiden det tar att utföra lyftet.
- CM = Hur arbetaren greppar objektet.
- L = Objektens genomsnittliga vikt.
- LC = Konstant som bestämts till 23 kg.



Figur 5: Visualisering av variabler. Ergonomics plus inc, (u.å).

Det här variablerna kan mätas i olika enheter och utifrån deras värden används en tabell för att få ut en så kallad multiplikator mellan 0 och 1 som sedan används för att beräkna RWL och "Lifting Index" (Canadian Centre of Occupational Health and Safety, 2007).

Viktigt att ha i beaktning är att det finns flera tillfällen då NIOSH metoden ej skall användas. Metoden bör inte användas när arbetaren utför lyften med en hand, om arbetaren sitter eller böjer sig ner, vid instabila lyft eller när andra arbetsmoment utförs samtidigt (Berlin & Adams, 2017).

2.5.3 OWAS

OWAS är en metod för att identifiera huruvida en individ har dålig hållning när ett arbetsmoment utförs (Karhu et al., 1977) Metoden använder en fyrsiffrig kod som beskriver positionen för rygg, armar, ben och den kraft som behövs för att utföra ett visst arbetsmoment (se figur 6) (Kivi & Mattila, 1991). Metoden bygger på att observationer görs på den enskilde arbetaren när ett arbetsmoment utförs för att identifiera vilka olika positioner ryggen, armarna och benen har under tiden jobbet utförs, samt beaktning av extern belastning (Lasota, 2014). Målet med utvärderingen är att reducera dålig hållning hos arbetaren (Lasota, 2014). OWAS beaktar de olika positionerna som rygg, armar och ben kan befinna sig i där varje position ges en siffra beroende på hur många positioner den enskilda kroppsdelens kan befinna sig i. Följande uppdelning görs (Lasota, 2014):

- Rygg: 4 olika positioner, 1 = rak, 2 = framåtböjd, 3 = Vriden, 4 = böjd och vriden.
- Armar: 3 positioner, 1 = Båda armarna under axelleden, 2 = En arm över axelleden, 3 = Båda armarna över axelleden.
- Ben: 7 Positioner, 1 = Sittande, 2 = Raka ben ståendes, 3 = Stående med ett ben utsträckt, 4 = Stående med böjda ben, 5 = Stående med ett ben böjt, 6 = Ett knä i marken, 7 = Gående.
- Extern belastning: 3 kategorier, 1 = $x < 10$ kg, 2 = $10 \text{ kg} < x < 20$ kg, 3 = $x > 20$ kg.

De olika kombinationerna rygg, armar och ben kan befinna sig i presenteras som en fyrsiffrig kod som kallas OWAS-poäng (Scott & Lambie, 1996).

4	2	2	1
Back	Arms	Legs	Load
1 Straight	1 Both below shoulder	1 Sitting	1 < 10 kg
2 Bent	2 One above shoulder	2 Standing on two legs	2 < 20 kg
3 Twisted	3 Both above shoulder	3 Standing on one leg	3 > 20 kg
4 Bent and Twisted		4 Standing on two bent knees	
		5 Standing on one bent knee	
		6 Kneeling	
		7 Walking	

Figur 6: OWAS poängsättningssystem. Lämkuill, et al., 2008.

Beroende på vilken poäng som genereras skall olika korrigerande åtgärder implementeras och i OWAS-metodiken kallas de för Action Categories. Utvärderingen delas upp i fyra stycken kategorier och benämns AC1, AC2, AC3 och AC4 och innebär följande (Lasota, 2014):

- AC1: Normal position på rygg, armar och ben som innebär låg risk för skador.
- AC2: Något högre risk för skador, men inga direkta åtgärder behöver göras.
- AC3: Signifikant risk för skador. Åtgärder behöver göras så snart som möjligt.
- AC4: Väldigt hög risk för skador. Åtgärder behöver göras omedelbart.

2.5.4 Static Strength Prediction Program (SSPP)

Analysverktyget använder sig av biomekanisk forskning för att avgöra om ett visst arbetsmoment eller rörelse är lämpad för en viss person (Berlin & Adams, 2017). Programvaran kan förutse krav på statisk belastning för olika arbetsmoment såsom, lyft, tryck och dragning. SSPP erhåller approximerade simulationer, där kroppshållning och kraftparametrar är inkluderade samt, manlig och kvinnlig antropometri (University of Michigan, 2020). Den utdata som är möjlig att erhålla är huruvida kvinnor och män kan utföra ett visst arbetsmoment, vilka krafter som ryggraden utsätts för vid belastning, samt data som sedan jämförs med NIOSH:s riktlinjer (University of Michigan, 2020).

2.5.5 Field of View (DHM)

För att en operatör skall kunna arbeta med god hållning är det viktigt att operatören kan se allt av relevans vid utförandet av ett arbetsmoment utan att behöva befinna sig i obekväma positioner (Lämkull et al., 2008; Cushman, 1983). Enligt Rönnäng (2004) finns även stor risk att kvalitén på arbetet försämras om operatören har ett begränsat synfält. Begränsat synfält kan även vara en bidragande faktor till dålig ergonomi (Corlett, 1981).

Verktöget finns i flera DHM-programvaror och erhåller information om manikins synfält genom att använda färgade koner och gränsade ytor som presenterar; manikins synfält för båda ögonen, det perifera synfältet, "blind spots" samt vad båda ögonen kan se individuellt. Verktöget gör det möjligt att se om ett föremål befinner sig i manikins synfält eller om manikinen måste ändra hållning för att förbättra synfältet av ett föremål (Berlin & Adams, 2017).

2.5.6 Reach envelopes (DHM)

Det finns flera faktorer som påverkar en persons räckvidd och i DHM-programvaror finns en funktion som heter "Reach envelopes". Utdata från funktionen presenteras antingen som statistisk- eller funktionella data (Roe, 1993). Den statistiska data som används tar hänsyn till längd på den aktuella kroppsdelen och rörlighet i ingående leder men den tar inte hänsyn till externa parametrar, exempel på externa parametrar är klädsel och skyddsutrustning (Lämkull et al., 2008). Funktionella data tar hänsyn till liknande koncept som statistisk data men inkluderar även externa parametrar (Lämkull et al., 2008). I DHM-programvaror är det möjligt med hjälp av olika uppsättningar av manikiner analysera huruvida en bred variation av personer kan nå ett visst objekt, eller utföra en viss typ av arbetsmoment (Lämkull et al., 2008). Vid utformningen av arbetsstationer används en tumregel där den minsta kvinnan och den största mannen skall kunna utföra de ingående arbetsmomenten med god ergonomi (Konz, 1983).

2.5.7 Accessibility and clearance analysis (DHM)

I DHM-programvaror är det möjligt att analysera rörelseutrymme för händerna om en operatör skall montera en detalj när utrymmet runt objektet är begränsat, samt om det är möjligt att nå det som skall monteras (Lämkull et al., 2008). Flera studier har visat att flera parametrar påverkas negativt om rörelseutrymmet är begränsat som kan påverka ergonomin och kvalitén på arbetsuppgiften (Adams & Peterson, 1988; Lämkull et al., 2008).

Det finns några olika verktyg som kan analysera dessa typer av scenarion i DHM (Lämkull et al., 2008). Det vanligaste är att två olika listor skapas som räknar ut avståndet mellan operatören och kringliggande geometrier för att på så sätt se om det är möjligt att t.ex. montera en viss detalj (Lämkull et al., 2008). DHM-programvaran kan på olika sätt signalera om kollision sker, antingen via ljudsignaler, att geometrier ändrar färg eller att rörelser avbryts (Lämkull et al., 2008).

2.5.8 Antropometri

Antropometri beskriver alla mått, längd, vikt, övriga dimensioner som människan har, samt de biomekaniska egenskaperna (Lämkull et al., 2008). I DHM-programvaror är det möjligt att erhålla antropometriska data från den generella populationen vilket kan vara användbart vid simuleringar och utformning av t.ex. nya arbetsstationer (Lämkull et al., 2008). Det är möjligt att i flera DHM-programvaror skapa specifika manikiner med olika antropometriska mått och i simuleringar ändra mått på enskilda kroppsdelar (Lämkull et al., 2008).

2.5.9 Lower back analysis

Funktionen innehåller en applikation som skapar en biomekanisk modell av överkroppen som gör det möjligt att specifikt belasta ländryggen. De värden som fås ut av simuleringen jämförs sedan med lagrad data för att avgöra om rörelsen är skadlig eller ej. Det här ger underlag för jämförelse mellan olika alternativa lösningar på arbetsrörelser och kan identifiera vilken som medför lägst risk för skador (Berlin & Adams, 2017).

2.5.10 Comfort analysis

Den här funktionen baseras i stor grad på flera observationer och empiriska studier där data samlats in från deltagarna när de haft en viss hållning vid utförandet av ett specifikt arbetsmoment. Insamlade data kombineras sedan med olika ledvinklar för att sedan skapa ett posturalt komfortvärde (Berlin & Adams, 2017). Kombineras de sparade värdena med den mänskliga simulerade modellen är det möjligt att ge varje kroppsdel ett ”comfort-based score”. Graden av bra eller dålig hållning kan presenteras med hjälp av olika färger i ett diagram. (Berlin & Adams, 2017).

3. METOD

I det här kapitlet beskrivs de metoder som användes vid utförandet av arbetet. Det här kapitlet kompletteras sedan i avsnitt 4.

3.1 Intervjuer

Första steget i arbetet var att söka upp relevant information för att förstå vad det finns för ergonomirelaterade problem på företaget, vart dessa problem uppstår och vad GKN Aerospace vill få ut av projektet. För att få fram den här informationen utfördes en rad intervjuer med olika personer; handledare för arbetet, företagshälsovården, företagets ergonom, skyddsombud, HR samt operatörer och produktionschef på avdelningen i fabriken. Det är viktigt att söka information från många olika källor för att på så vis få en mer rättvis och objektiv bedömning av företagets situation. Frågorna som ställdes var även öppna och i den mån det var möjligt ställdes samma frågor till alla som intervjuades, med undantag för vissa frågor som var specifika för den aktuella personen. Målet med intervjuerna var att få en bild av en lämplig arbetsstation och arbetsmoment som sedan skulle analyseras för att få fram data till simuleringsmodellen. Intervjuerna syftade också till att kartlägga hur processen och arbetsgången kring utformning av nya arbetsstationer ser ut idag, men även hur det generella arbetet kring ergonomi fungerar.

3.2 Litteraturstudie

För att öka chanserna att lyckas med simuleringsprojektet behövdes relevant teori studeras för att öka förståelsen för ämnet och med relevant forskning kunna besvara frågeställningarna. Projektet följde en metodik som vanligen används inom simuleringsprojekt vilket innefattar en rad steg som presenteras i teoriavsnittet. Litteraturstudien innefattade även kopplingar till ergonomi i relation till ekonomi och den sociala effekt ergonomiska problem kan medföra. Programvarorna som utvärderades i projektet använder sig av en rad olika verktyg för att avgöra om god ergonomi erhålls på en arbetsplats och i teoriavsnittet presenteras några av de verktyg som finns i IPS IMMA och Process Simulate Human för att ge en ökad förståelse för hur dessa verktyg fungerar.

3.3 Utbildning

Utbildning i både IPS IMMA och Process Simulate Human var nödvändig då tidigare erfarenhet i respektive program saknades. FCC hade möjlighet att erbjuda 4 timmar grundläggande utbildning i IPS IMMA och de fanns tillgängliga för konsultation efter avslutad utbildning. På grund av Corona pandemin var fysisk utbildning i Process Simulate Human inte möjlig, men tillgång till nätbaserat utbildningsmaterial fanns på Siemens hemsida som i kombination med experthjälp användes för att bygga modellen i Process Simulate Human.

3.4 Metodik för simuleringsprojekt

Metodiken som användes i simuleringsprojektet karakteriseras av tre huvudsteg, tolkning, utveckling och analys. Simuleringsprocessen innehöll följande steg: problemformulering, konceptmodell, datainsamling, modelluppbyggnad, verifiering och validering, analys, dokumentation och implementation. Bakgrunden till varje ingående steg förklaras i avsnitt 2.1 och avsnitt 4.1 beskriver hur det genomfördes.

3.5 Jämförelse

När en arbetsstation och ett arbetsmoment hade fastställts, samt CAD-modeller och data samlats in var det dags att börja med simuleringsarbetet. För att få en mer objektiv utvärdering användes två olika programvaror vid testerna som sedan jämfördes med varandra för att ta reda på deras olika styrkor och svagheter. Simuleringsprogrammen som jämfördes är IPS IMMA från Fraunhofer Chalmers Centre och Process Simulate Human från Siemens. Vid simuleringarna gjordes en undersökning av hur bra programmen kan generera en realistisk simulering, deras användarvänlighet, vad de har för möjligheter att analysera ergonomi samt hur de presenterar utdata från analyserna. Jämförelsen av deras ergonomiska analyser fokuserade RULA då det är den enda analysmetoden som ingår i båda programmen.

4. GENOMFÖRANDE

4.1 Simuleringsprojektet

I det här kapitlet beskrivs de olika stegen i simuleringsprojektets arbetssätt som beskrivs i teoriavsnitt 2.1.

4.1.1 Problemformulering

Vid projektets start fanns det begränsad information om hur projektet skulle utföras och vad som skulle undersökas mer specifikt. Det första steget var därför att samla in information och ta reda på hur den nuvarande situationen såg ut och vad det fanns för önskemål från företagets sida med projektet. Genom diskussioner med Andreas Rudqvist blev målet något mer definierat då programvarorna preliminärt bestämdes samt vissa ergonomiska problemområden uppdagades. Utifrån de inledande diskussionerna gavs hänvisningar till företagshälsovården för att genom dem identifiera en specifik station med ergonomiska problem som även passar för simuleringsprojektet.

4.1.1.2 Intervju med Håkan Arvidsson, företagshälsovården

En intervju med Håkan Arvidsson från företagshälsovården bokades in och frågor utformades på förhand för att säkerställa att få rätt och bra information. De frågor som ställdes syftade till att ge svar på vart ergonomiska problem uppstår, hur omfattande de ergonomiska problemen är, vad det kostar företaget och vad företagshälsovården vill ha ut av ett simuleringsprogram för ergonomi. Vid intervjun framkom det att företagets ergonomiska problem främst rör sig om axlar, nacke och handleder, och vissa anställda har påpekat smärta i dessa kroppsdelar vid verktygsbyten vid en fleroperationsmaskin av märket GROB i X-verkstaden. Håkan tipsade här om att kontakta Carl Därnemyr, produktionschefen i X-verkstaden för djupare undersökning.

När det kommer till omfattningen av de ergonomiska problemen var det lite svårt att svara på det. Det finns statistik på sjukskrivningar, men den är dessvärre inte uppdelad efter anledning till sjukskrivning, dvs ingen skillnad mellan sjukdom, skada via olycka eller ergonomisk förslitningsskada. Däremot finns det statistik på att 125 personer sökte vård för ergonomiska problem under 2019, dock påpekade Håkan att dessa inte nödvändigtvis endast orsakats av individernas arbete. Håkan refererade sedan till IF Metall som eventuellt kunde ge mer info om omfattningen av ergonomiska problem.

Företagshälsovården såg ett stort värde i att genom ergonomisimulering få möjligheten analysera ergonomin vid en station i ett tidigt skede innan problemen uppstår.

Det fanns även ett intresse av möjligheten att utforma skonsamma arbetsuppgifter åt skadade individer under rehabilitering. De ekonomiska konsekvenserna var svåra att svara på, och hänvisningar gjordes till HR-avdelningen som har bättre koll på ekonomiska frågor.

Mail skickades till HR-avdelningen för att få en uppfattning om ekonomin rörande ergonomiska problem och intervjuer bokades sedan in med IF Metall och Carl Därnemyr. Liknande frågor som ställts till Håkan ställdes i de övriga intervjuerna, och frågorna utformades med fokus på att inte bara få bekräftelse på det som Håkan sagt, utan för att få en mer objektiv bild av läget.

4.1.1.3 Intervju med Jan Thorsell, Skyddsombud, IF Metall

Nästa intervju utfördes med Jan Thorsell från IF Metall där frågorna var snarlika dem som ställdes till Håkan. Jan gav ungefär samma svar som Håkan angående ergonomin, axlar, nacke och handleder var enligt honom där det oftast uppstår problem och att de problemen ofta uppstår vid frekventa verktygsbyten. Ett annat problem som Jan påpekade var att det uppstår vibrationsskador "vita fingrar" vid gradning av olika komponenter och att det hade varit intressant att undersöka om ett simuleringsprogram kan analysera vibrationsskador. När det kommer till omfattningen och kostnader för ergonomiska problem kunde Jan inte ge några tydliga siffror mer än att det kostar företaget mycket pengar. Antagligen uppstår det en del sjukskrivningar, men det finns inte någon statistik på vilka som beror på just ergonomiska problem. Det finns dock enskilda fall då individer har blivit sjukskrivna länge på grund av ergonomiska problem. Jan tryckte även på att det är viktigt att kunna utföra simuleringar på gamla maskiner och inte bara nya.

Jan fick sedan frågan om hur de jobbar med att förebygga ergonomiska problem vid utformning av nya arbetsstationer. Svaret var att de först på senare tid har börjat jobba med att förebygga problem, men de utgår mest från tidigare erfarenheter och löser sedan problemen allteftersom de uppstår. Därefter utför de löpande riskanalyser på stationerna, men det är mest fokus på skaderisk och inte så mycket ergonomi.

4.1.1.4 Intervju med Carl Därnemyr, Produktionschef i X-verkstad

Med en bättre uppfattning om problemen utfördes en intervju med Carl Därnemyr som är produktionschef i X-verkstaden. Frågorna som ställdes var inledande samma som vid tidigare intervjuer, men de utvecklades sedan till att fokusera på den aktuella stationen. Carl uppgav att det arbetsmoment som har högst belastning är verktygsbyten vid GROB-maskinerna i X-verkstaden. Det tycks enligt honom främst vara problem med axlarna men smärta på andra ställen förekommer också. Dock är det viktigt att nämna att det inte är någon bekräftad sjukskrivning kopplat till ergonomin vid verktygsbyten, men att det är känt att smärta och obehag uppstår där.

Carl ansåg att det är väldigt intressant med möjligheten att långt innan en fysisk station finns på plats kunna erhålla färdiga CAD-modeller och med dem utföra en ergonomisimulering. Detta för att i ett tidigt skede kunna avgöra huruvida en station behöver konstrueras om för att inte slita lika hårt på operatörerna. Framför allt då det kan vara svårt att göra några större ändringar när stationen väl är på plats. Carl fick sedan frågan om hur de brukar jobba med att förebygga ergonomiska problem vid utformning av nya arbetsstationer. Carl tror inte att de jobbar speciellt mycket med att förebygga ergonomiska problem, de förutsätter att tillverkarna har tänkt på ergonomin vid utformningen av maskinerna. Sedan gör de själva analyser av maskinerna när de är på plats. Carl nämnde även att det hade blivit fel när de nya GROB-maskinerna beställdes och luckan vid verktygshållaren var placerad för högt upp. Konsekvensen av det var att en efterkonstruktion var nödvändig där en trappa och en höj- och sänkbar verktygsvagn behövde införskaffas.

Tidigare intervjuer hade pekat på att det kunde vara intressant att simulera verktygsbyten vid fleroperationsmaskinerna i X-verkstaden och Carl höll med om det kunde vara ett bra moment att simulera.

4.1.2 Konceptmodell

Efter att ha studerat stationen skapades det en ganska tydlig mental konceptmodell. Tanken var att få med ett punktmoln för att ge modellen en realistisk bakgrund och sedan infoga CAD-modeller för att på så vis göra modellen så lik verkligheten som möjligt rent visuellt. Begränsningar sattes dock till placeringen och antalet maskiner för att göra modellen lättare att bygga och det skulle inte heller påverka resultatet eller syftet med projektet. Ifall CAD-modeller skulle behöva skapas ansågs det vara acceptabelt att simplificera dessa på grund av tid och bristande kunskap, då det endast skulle påverka modellen marginellt på det visuella planet. Konceptuellt räknades det sedan med att manikinen inte skulle röra sig helt mänskligt, och lite hackiga och onaturliga rörelser skulle därför behöva accepteras. Tanken var också att en hel arbetscykel skulle ingå i simuleringen där manikinens förflyttningar i fabriken skulle ingå samt ca 15 - 20 verktygsbyten.

4.1.3 Datainsamling

En stor del av CAD-modellerna fanns redan färdiga med rätt mått, därför krävdes det ingen omfattande datainsamling utöver den data som samlats in vid problemformuleringen. Mått togs på de objekt som behövde omvandlas till CAD-modeller, dessa var en trappa samt en höj- och sänkbar verktygsvagn som med hjälp av Andreas Rudqvist sedan skapades i CAD. CAD-modeller på GROB-maskinen och verktyg fanns redan tillgängliga och behövde bara importeras. Placeringen av de olika objekten i relation till varandra var dock okänd och fick därför mätas upp vid den verkliga stationen i fabriken. Många av dessa objekt hade dock inte någon exakt placering då de påverkas av den mänskliga faktorn vilket beaktades vid skapandet av simuleringsmodellen. En intervju utfördes även med en operatör för att ta reda på vilka olika steg, rörelser och grepp som ingår i verktygsbytet samt hur frekvent verktygsbyten utförs.

4.1.4 Modellbyggande

Arbetsstationen som skulle simuleras bestod av både manuellt och automatiserat arbete. Det manuella arbetet utgjordes av verktygsbyten till en GROB-maskin, som är en kombinerad svarv och fräs. En operatör vid den här stationen utför ca 100 verktygsbyten varje dag, men endast ett verktygsbyte simulerades då arbetsmomenten i stort sett är samma för varje verktygsbyte. Arbetet som utförs mellan verktygsbytena ingick i modellen utan operatören satte endast in och tog ut samma verktyg en gång. Följande arbetsinstruktioner simulerades:

1. Öppna lucka till GROB-maskinen.
2. Ta verktyg från verktygsvagnen.
3. Sätt in verktyg i GROB-maskinen.
4. Stäng luckan.
5. Tryck på en knapp vid sidan av luckan för att rotera verktygshållaren.
6. Öppna luckan.
7. Ta ut verktyg och placera på verktygsvagnen.
8. Stäng luckan.

Dessa steg repeteras för varje verktygsbyte, men skillnaden från den verkliga stationen är att flera verktyg tas ut och sätts in under samma arbetscykel. I de två nästkommande avsnitten kommer det beskrivas hur modellen byggdes upp i IPS IMMA och Process Simulate Human.

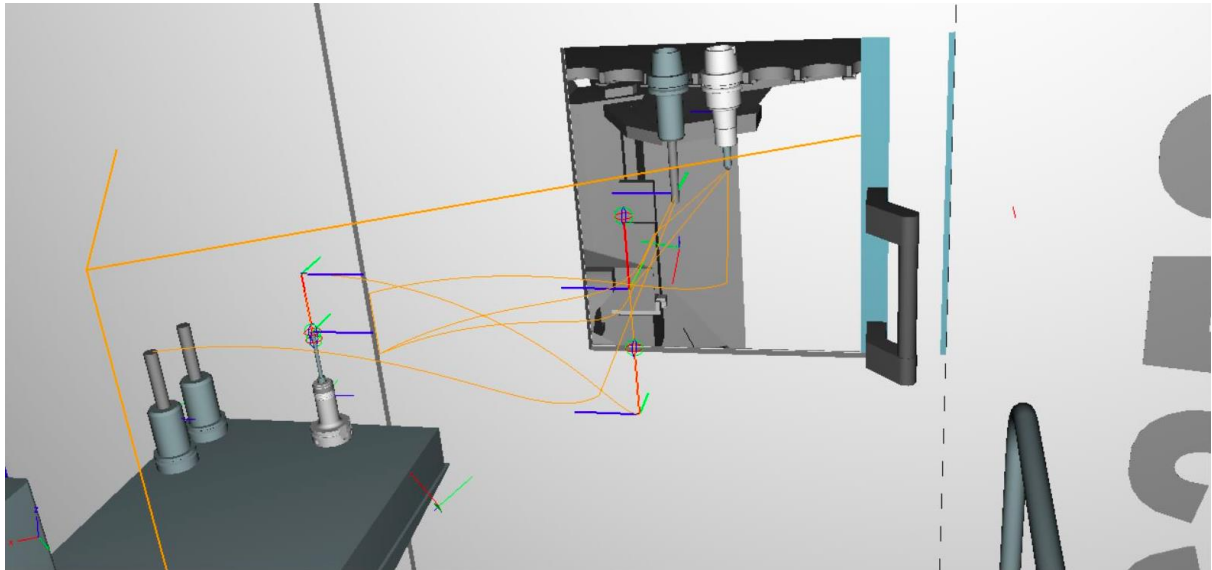
4.1.4.1 Modell IPS IMMA

Första steget vid byggandet av modellen var att ladda in ett punktmoln som skannats från en tom fabrikslokal hos GKN Aerospace Trollhättan. Sedan infogades fyra fleroperationsmaskiner, fyra trappor med räcke och fyra verktygsvagnar med tillhörande verktyg. Dessa placerades sedan ut för att skapa fyra olika stationer likt en verklig plats i den fysiska fabriken. För simuleringens skull hade det räckt med en station men valet att göra fyra stycken gjordes för att kopiera den verkliga situationen visuellt på ett bättre sätt. Måtten som samlats in rörande objektens relation till varandra användes sedan för att placera ut dem i fabriken. När modellen var klar infogades en s.k. manikin, som är en virtuell operatör och arbetet med manikins rörelse påbörjades. Manikinen placerades på trappan och ett nytt koordinatsystem för trappan skapades som manikinen låstes till för att den inte skulle åka igenom trappans. Funktionen "Collision Avoidance" aktiverades även för att säkerställa att manikinen sedan inte skulle krocka med sig själv eller något annat objekt för att på så vis ge den en mer realistisk rörelse.



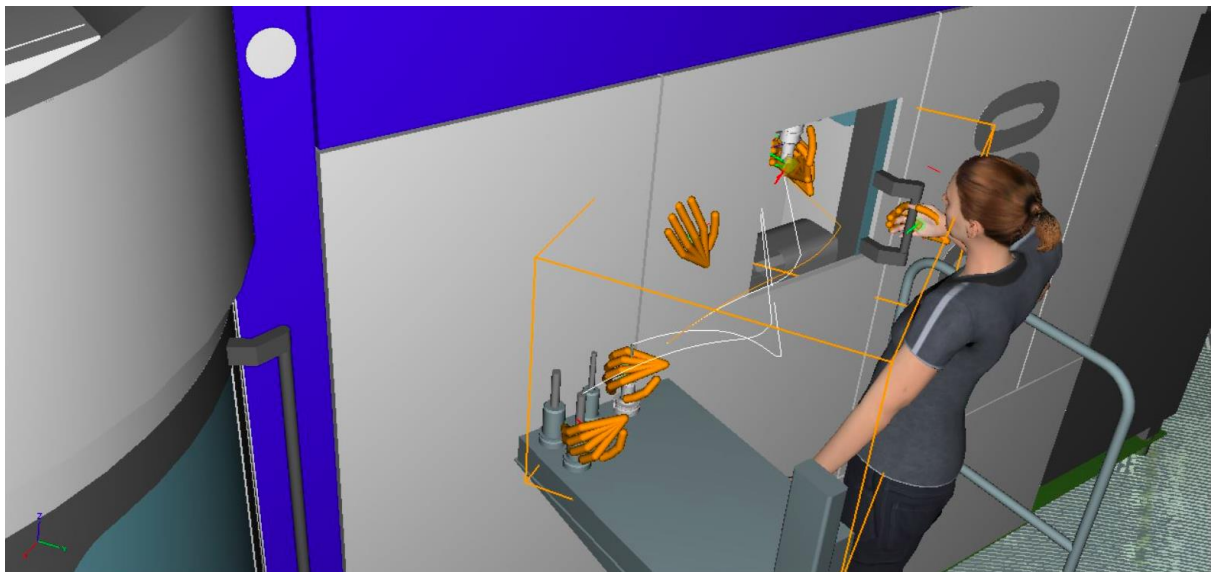
Figur 7: Den virtuella fabriken som utgörs av punktmoln och CAD-modeller.

I nästa steg skapades först rörelsen "öppna lucka" som innebar att skjutluckan öppnade sig på samma sätt som i verkligheten, följt av rörelsen "stäng lucka" som då blev motsvarande rörelse baklänges. Nästa steg var att skapa rörelsen som verktygen skulle ta, här fick hänsyn tas så att verktygen inte skulle krocka med övriga geometrier. Rörelser skapades för att både montera och demontera samtliga verktyg. För att öka realismen av modellen aktiverades funktionen "look at" på verktyget så att manikinen följde det med blicken under hela rörelsen.



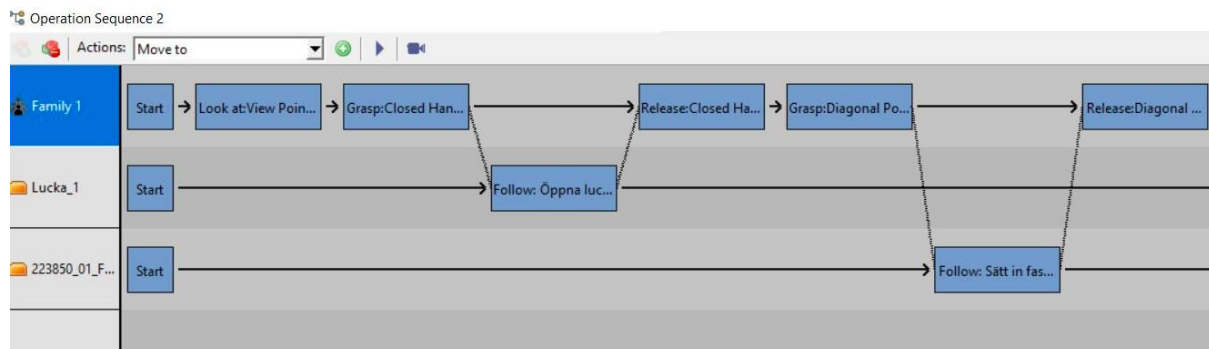
Figur 8: Verktygens rörelsemönster.

När rörelserna hade skapats var det dags att konstruera de olika greppen som manikinen skulle ta under simuleringen. De grepp som var aktuella för simuleringen var greppet på handtaget till luckan och grepp på de olika verktygen. Det var svårt att mäta upp några exakta grepp i den fysiska fabriken då de kunde variera en del, så dessa valdes godtyckligt utifrån vad som verkade naturligt.



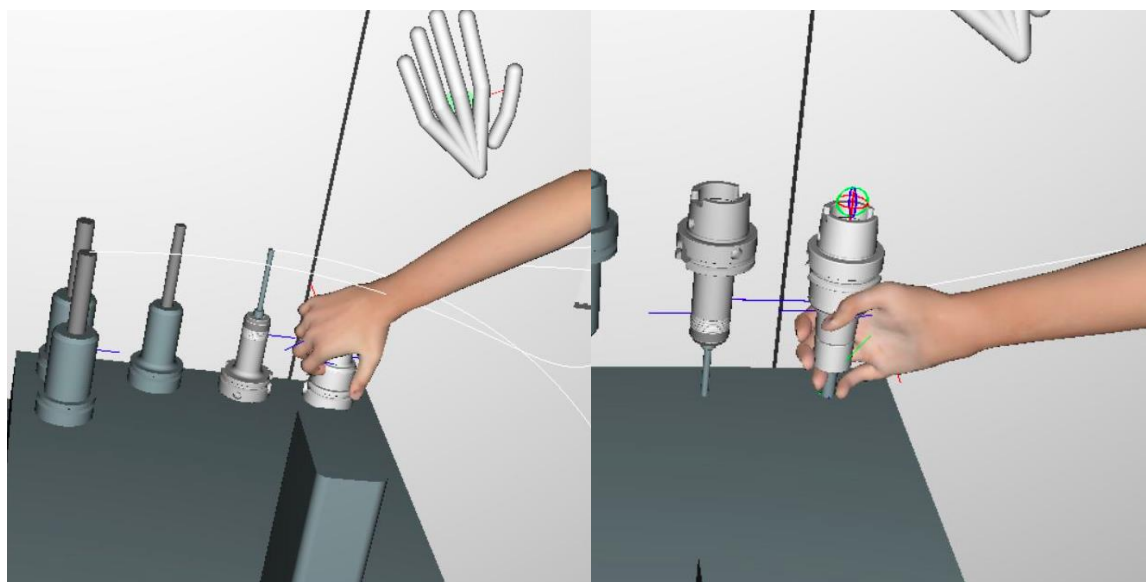
Figur 9: Simuleringens olika grepp.

När alla grepp och rörelser skapats och alla komponenter infogats var det dags att generera simuleringen. Simuleringsverktyget "Operation Sequence" öppnades och här infogades manikinen, luckan och de aktuella verktygen. Sedan sattes tidigare skapade grepp och rörelser ihop i rätt ordning för att skapa en korrekt sekvens, (se figur 9). Här tydliggjordes olika problem med rörelserna och greppen som fick justeras flertalet gånger innan simuleringen till slut var tillräckligt bra.

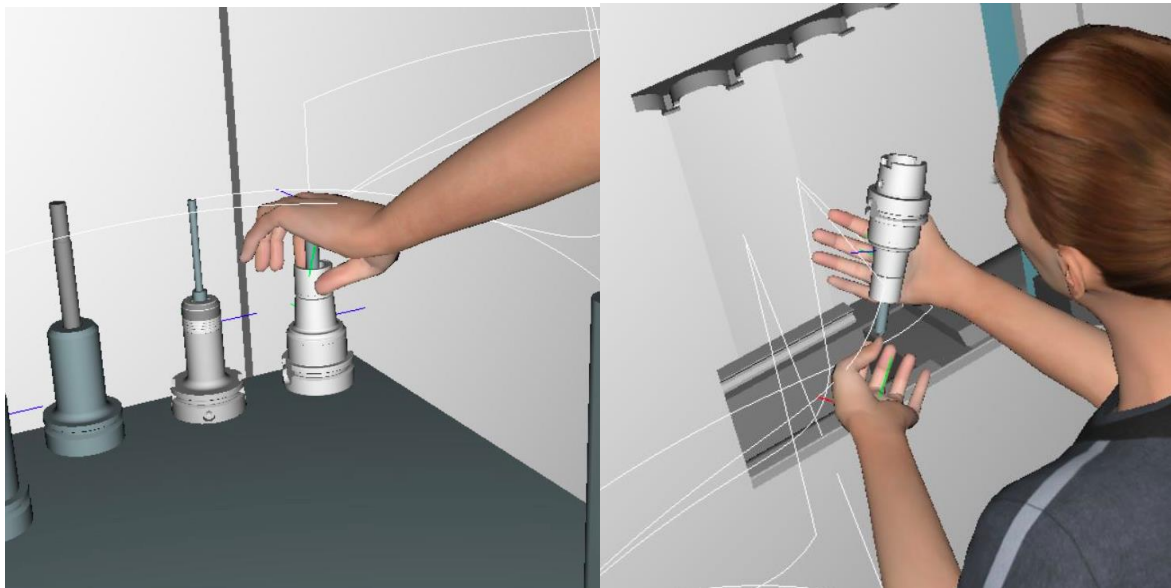


Figur 10: “Operations Sequence Editor”.

Tre olika simuleringar med tre olika tillvägagångssätt utfördes sedan som underlag för analysen. Simulering 1 utfördes med samma grepp som används i verkligheten. I simulering 2 greppar manikinen först verktyget med vänster hand för att sedan låta höger hand ta över. Det gjordes för att minska vridningen av handlederna som är ett problem i det verkliga systemet. I simulering 3 testades effekten av att placera verktygen åt rätt håll redan från början, istället för att det skulle behöva vridas 180 grader till sin slutposition.



Figur 11: Grepp i simulering 1 respektive simulering 3.



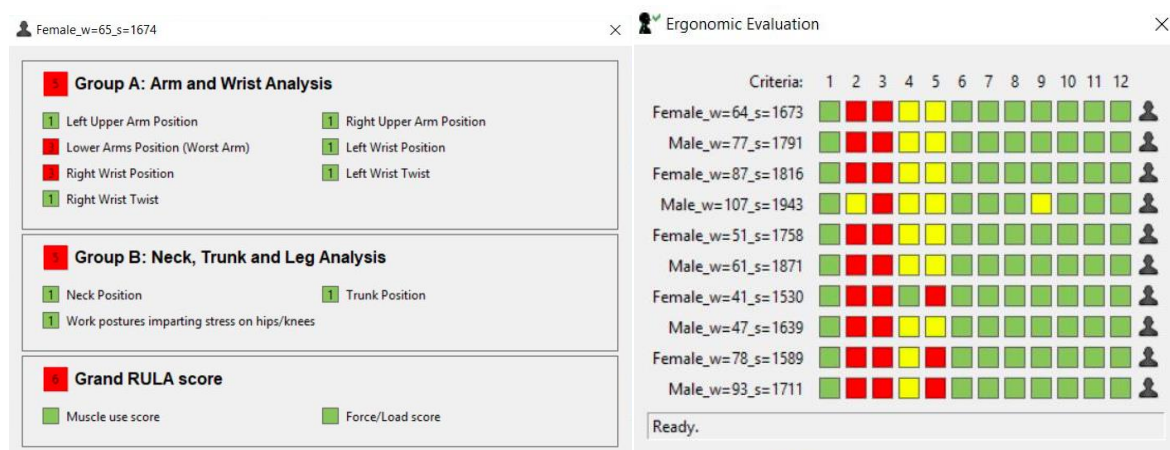
Figur 12: Grepp 1 och 2 i simulering 2.

Ytterligare en simulering utfördes sedan där rörelsen av en hel manikinfamilj simulerades samtidigt. Manikinfamiljen bestod av både manliga och kvinnliga manikiner där längderna varierade från 153 cm till 194 cm vilket var standardinställningen. Genom det visualiserades skillnaderna för operatörer med olika dimensioner. En ergonomianalys skapades sedan för hela manikinfamiljen där resultaten för samtliga familjemedlemmar kunde studeras samtidigt (se figur 14).



Figur 13: Grepp för manikinfamilj.

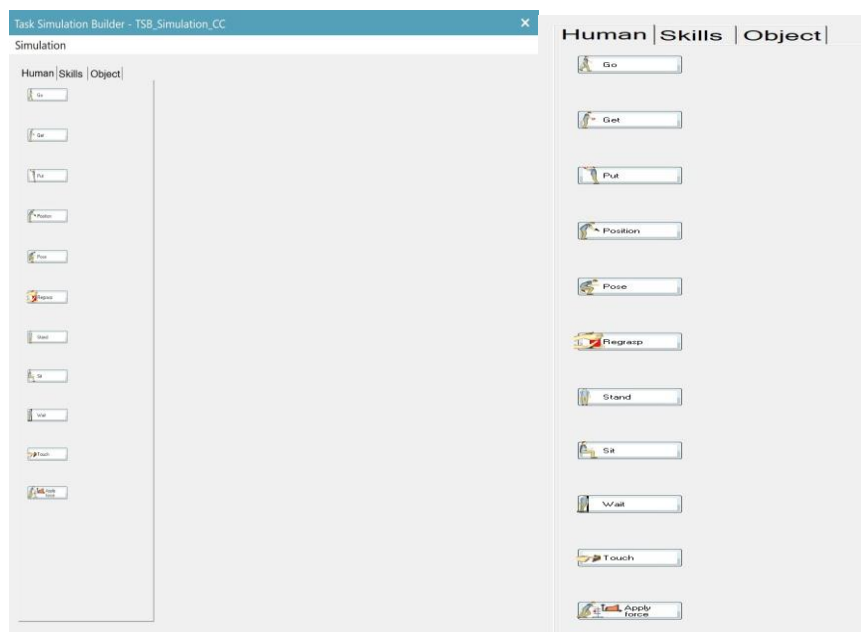
När tillfredsställande simuleringar skapats kunde slutligen ergonomianalysen för de aktuella simuleringarna genereras. Här ges valet om det ska genereras en analys på hela sekvensen, eller en statisk analys som kontinuerligt uppdateras vid varje rörelse. Rapporten som genereras använder sig av RULA för sina beräkningar. En mer utförlig genomgång av ergonomianalysen görs i avsnitt 5.



Figur 14: Exempel på RULA-Score från simulering med grepp 1 med enkel manikin och manikinfamilj.

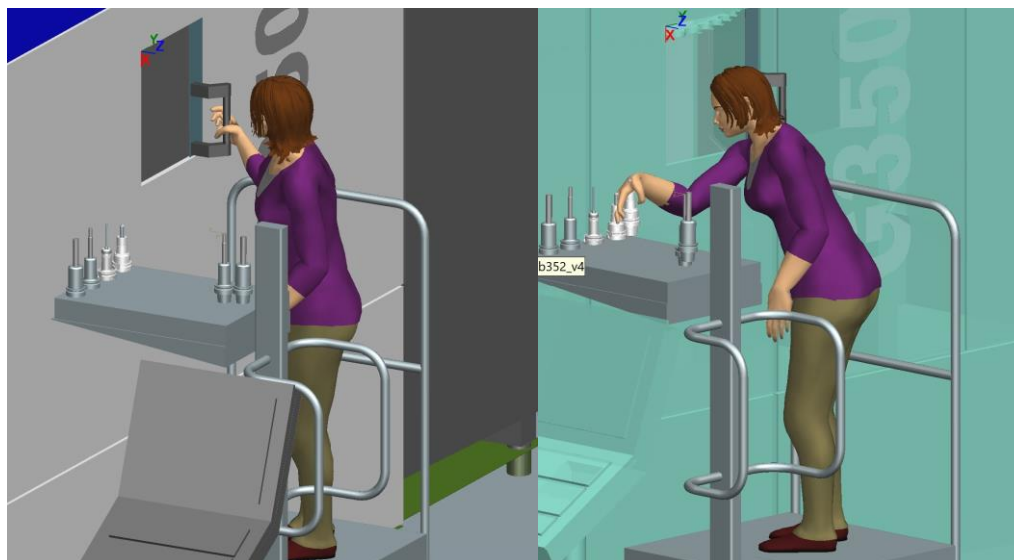
4.1.4.2 Modell Siemens Process Simulate Human

Modellen i Process Simulate Human gjordes på ett liknande sätt som för IPS IMMA. De färdiga CAD-modellerna infogades i programmet men här valde vi att inte använda oss av mer än en arbetsstation och inte heller infoga punktmolnet. Vi gjorde den här förenklingen av modellen för att spara tid och det skulle endast påverka den visuellt utan att göra inskränkningar på den enskilda arbetsstationen. Arbetsmomenten som ingår i den här modellen följer sekvensen som beskrivs i avsnitt 4.1.4. Manipulation av manikinen och förflyttning av objekt sker i något som kallas Task Simulation Builder (TSB) där varje rörelse och förflyttning görs i en sekventiell ordning (Se figur 15).



Figur 15: Task Simulation Builder.

För att få manikinen att greppa och förflytta luckan används tre olika funktioner, get, position och put. Get-funktionen gör så att manikinen kan greppa handtaget på luckan där det ges olika alternativ på vilka olika grepp manikinen kan ta. Det går även att manipulera greppet manuellt med hjälp av koordinatsystem. Vidare används position-funktionen för att flytta luckan, i xyz-led. Put-funktionen används sedan efter för att manikinen skall kunna släppa luckan när den väl är öppen. Efter att luckan är öppen skall manikinen greppa verktygen som skall placeras i en hållare innanför luckan och på samma sätt som med förflyttning av luckan används get- och put funktionen.

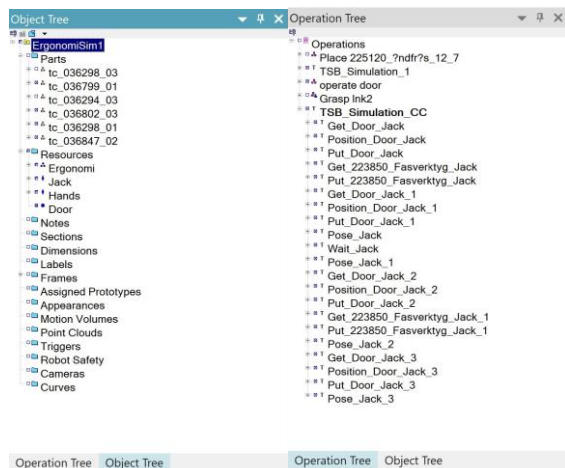


Figur 16: Manikinens grepp av lucka och verktyg.

Eftersom förflyttningen innebär en rotation av verktyget krävs det att greppet positioneras så att manikinen kan utföra rotationen som krävs. I den här modellen positionerades greppet på liknande sätt som operatören greppar verktyget vid den verkliga stationen.

Mellan varje rörelse läggs en ytterligare funktion in som kallas “pose” som innebär att det går att bestämma vilken hållning manikinen kan anta. Anledningen till att det görs mellan varje rörelse är för att rörelserna skall se verklighetstroga ut. Resterande arbetsmoment upprepas på samma sätt med put, get, pose och position där operatören skall öppna luckan igen och placera verktygen på verktygsvagnen för att sedan stänga luckan.

I programmet finns ett operationsträd och ett objektsträd, i operationsträdet sparas sekvensen som byggs i TSB och i objektträdet finns alla ingående geometrier i modellen (se figur 17). För att spela upp simuleringen kopieras sekvensen över i en “Sequence Editor” och sedan visualiseras hela arbetsmomentet (se figur 18). När simuleringen väl är färdig analyseras ergonomin med olika verktyg som kommer att presenteras i avsnitt 5.2.4.



Figur 17: Objekträd och operationsträd.



Figur 18: Sequence editor.

4.1.5 Verifiering och validering av modeller

Valet gjordes att utföra en white-box validering som innebar att vi själva utförde valideringen i samråd med personer som hade en djupare förståelse över det verkliga systemet.

Valideringen gick ut på att jämföra modellen med den verkliga stationen där några olika områden beaktades. Det gjordes en visuell inspektion av hur operatören vid den aktuella stationen utförde verktygsbytet med hänsyn till grepp, ordning på arbetsinstruktioner och rörelser. De CAD-modeller som användes vid simuleringen och deras placering validerades genom att mätningar gjordes vid den verkliga stationen för att säkerställa att de stämde överens. För att öka validiteten jämfördes också utdata från RULA-analysen med de problem som operatörerna upplevt i verkligheten där kriteriet var att de skulle stämma bra överens.

4.1.6 Analys av simuleringar

Simuleringarna utfördes flera gånger för att säkerställa att resultaten var pålitliga och inte skilde från gång till gång. Simuleringar med olika scenarion i form av antal personer, dimensioner på personer och grepp testades för att se den ergonomiska effekten av de olika förutsättningarna och eventuella förbättringarna. Utdata från RULA-analysen ifrågasattes och analyserades med utgångspunkt hur analysverktyget gör sina beräkningar, samt hur väl utdata stämde överens med verkligheten. Utdata jämfördes sedan med den data som antogs vara nödvändig för att besvara projektets frågeställning innan den godkändes. En djupare analys av utdata och jämförelse av programvarorna görs i avsnitt 5.

4.1.7 Dokumentation

Arbetet kring projektet har kontinuerligt dokumenterats där bilder, referenser, intervjuer och minnesanteckningar har specificerats med datum och gjorts tillgängliga på flera enheter. Det har förenklat arbetet med att hitta rätt information vid rapportskrivandet men även för att se hur projektet följer tidsplanen. I den mån det har varit möjligt har även information delats med handledare från både GKN Aerospace och Chalmers för att säkerställa att samtliga parter har samma uppfattning om hur arbetet har varit tänkt att fortskrida.

I början av projektet utvecklades en tidsplan som har varit en tidsmässig referens under hela arbetet för att ge en uppfattning om hur projektet ligger till i förhållande till tidsplanen. Veckovisa loggar skapades och delades med GKN Aerospace där det som gjorts under den aktuella veckan sammanfattades och mål för den kommande veckan specificerades. Det har utöver det varit en kontinuerlig lägesrapportering via e-post och telefonsamtal till samtliga handledare. För att inte glömma av saker som skrevs beslut och information ner direkt i rapporten och intervjuerna som utfördes renskrevs samma dag.

4.1.8 Implementation

Under projektets gång har flera olika intressenter gjorts delaktiga och deras synpunkter och förväntningar har beaktats. Då det inte finns någon större kunskap om ergonomisimulering på företaget lades det ner en del tid åt att lära personer på företaget hur de olika programvarorna fungerar. Fördelar med programmen försökte även säljas in där det förklarades vad det finns för möjligheter med att utföra ergonomisimulering.

5. RESULTAT

Innan simuleringsprocessen inleddes fanns vetskapen att operatörer vid den valda stationen upplevt problem med axlar och handleder. Det var fokus på att försöka få simuleringen verklighetstrogen för att utvärdera om ergonomianalysen i respektive program kunde påvisa dessa problem. I IPS IMMA simulerades olika grepp och rörelser för att kunna visa att det är möjligt att på förhand erhålla kunskap om potentiella problem.

I Process Simulate Human var fokus att efterlikna grepp och rörelser som operatören utför det i verkligheten, men inga ytterligare försök till förbättringar gjordes på grund av tidsbrist och bristande kunskap i programmet. IPS IMMA använder sig endast av analysverktyget RULA, medan fler analysverktyg är möjliga att använda i Process Simulate Human. Det kommer inte att presenteras någon utdata från resterande analysverktyg i Process Simulate Human utan det kommer endast att beskrivas hur utdata erhålls. Fokus kommer att ligga på att utvärdera hur data presenteras från RULA-analysen i respektive program men fler möjligheter att analysera ergonomi kommer att presenteras för både IPS IMMA och Process Simulate Human. Vidare utvärdering av båda programmen kommer att presenteras i avsnitt 6 med hänsyn till användarvänlighet och relevanta funktioner då detta är avgörande för att kunna utföra en bra ergonomianalys.

5.1 Simulering IPS IMMA

I följande avsnitt redovisas resultaten som samlats in efter simuleringsarbetet i IPS IMMA.

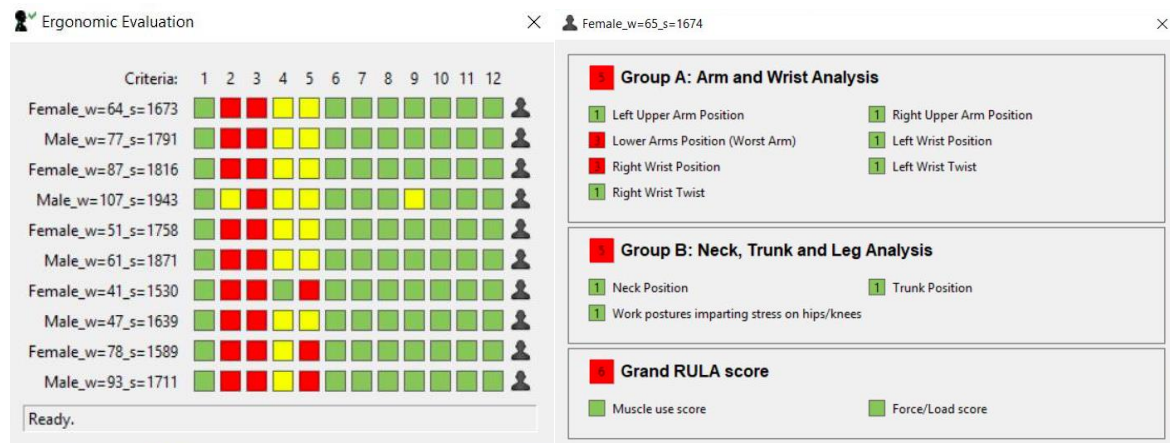
5.1.1 Validering

I den första simuleringen som skapades i IPS IMMA var målet att efterlikna den verkliga arbetssekvensen så bra som möjligt. Att göra en exakt kopia av den verkliga sekvensen visade sig vara svårt, och förenklingar fick därför göras. Greppen skilde sig från verkligheten, fötterna fick minskad rörlighet och vissa onaturliga rörelser uppstod. Resultatet av förenklingarna kan ha påverkat vinklar på olika kroppsdelar som i sin tur kan ha påverkat resultatet av ergonomianalysen. Beslutet togs dock att simuleringen var tillräckligt lik verkligheten för ändamålet och ergonomianalysen bekräftade även att handleder och axlar utsätts för en hög belastning precis som vid den fysiska stationen. Då simuleringen såg bra ut visuellt och även gav realistiska utdata kunde den ses som validerad och användas vid analysen.

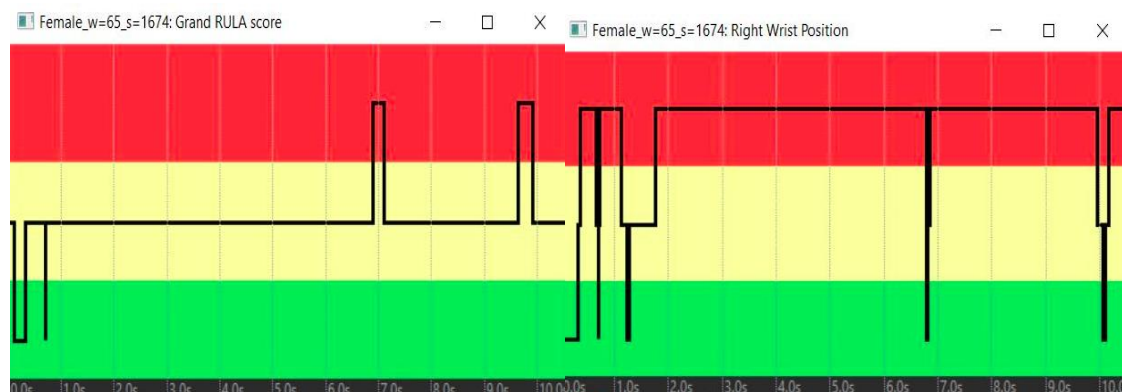
5.1.2 Ergonomianalys - RULA

Efter att en simulering genererats ges valmöjligheten att göra en ergonomianalys av manikinens rörelser. IPS IMMA har idag endast analysmetoden RULA som standard även om det är möjligt för företag att själva integrera egna analysmetoder. För att generera RULA-beräkningen behöver olika val fyllas i som ingår i RULA metodiken. Först görs valet om en beräkning ska göras för hela simuleringssekvensen eller om systemet endast ska utföra en statisk beräkning i varje enskild position. Programmet behöver sedan få reda på om momentet utförs fler än fyra gånger per minut och vad vikten på objektet är om det väger mer än 2 kg.

När alla val fyllts i genereras rapporten som då visar en överskådlig bild över vilken RULA-score grupp A, B och Grand RULA Score får. Det redovisas även vilken poäng de olika gruppernas komponenter tilldelas (figur 19). Om en beräkning på hela sekvensen utförs går det att klicka på rutorna i matrisen för att se hur RULA-scorer varierar med tiden, den funktionen finns inte för den statiska beräkningen då det redan är en ögonblicksbild (se figur 20). När det går att se hur RULA-Scorer varierar över tiden blir det lättare att identifiera vilka grepp eller rörelser som orsakar de eventuellt dåliga ergonomiska resultaten. Den informationen kan sedan användas för att undersöka problemen och hitta eventuella förbättringar. Dock är det allt som redovisas och det går inte att få reda på de olika vinklarna som används vid beräkningen.



Figur 19: RULA-Score för hel manikinfamilj och för enskild manikin.

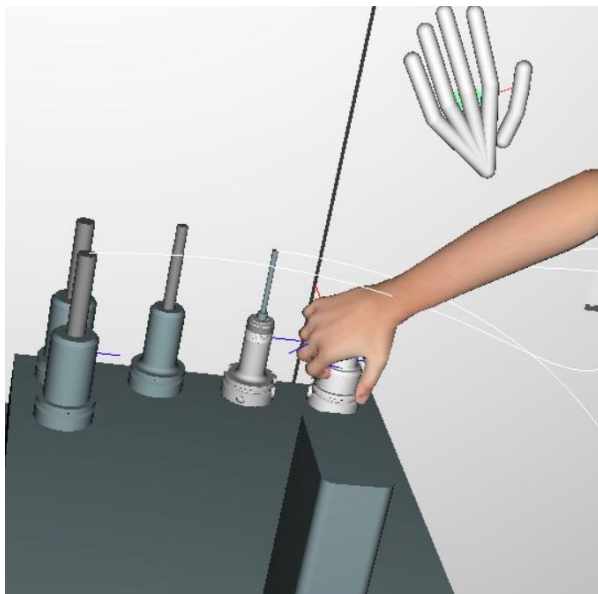


Figur 20: Hur Grand RULA Score och RULA-score för höger handled varierar under simuleringen.

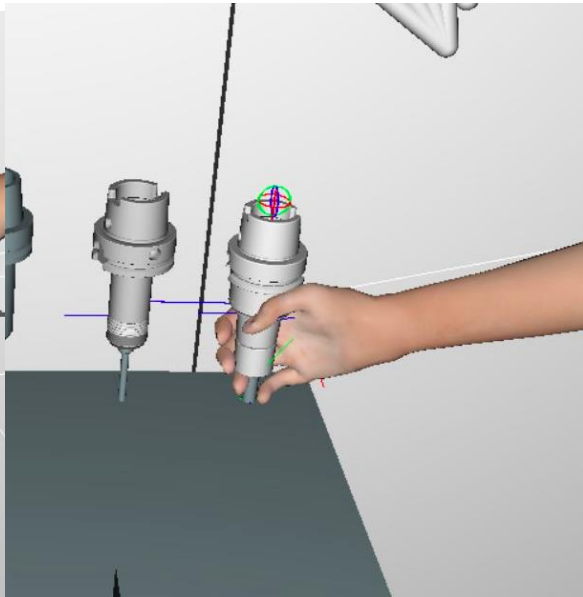
5.1.3 Analys

Efter att simulering 1 hade validerats undersöktes effekten av andra grepp och rörelser. Det som var tydligt i ergonomianalysen av simulering 1 var att höger handled utsattes för en hög belastning (se figur 19). Ergonomianalysen som utfördes gjordes på hela sekvensen för att lokalisera var belastningen var som högst. Två nya simuleringar skapades där fokus låg på att minska belastningen på höger handled, och dessa analyserades statistiskt i positionen där greppen tas. I simulering 2 valdes därför att använda båda händerna vid förflyttning av verktyget för att minska rotationen av höger handled.

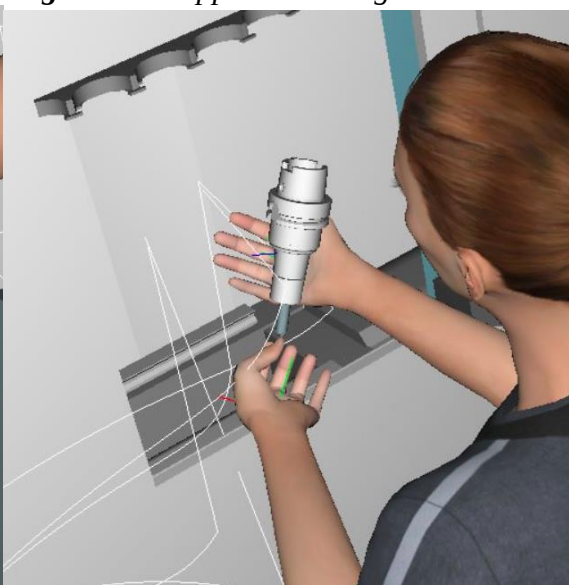
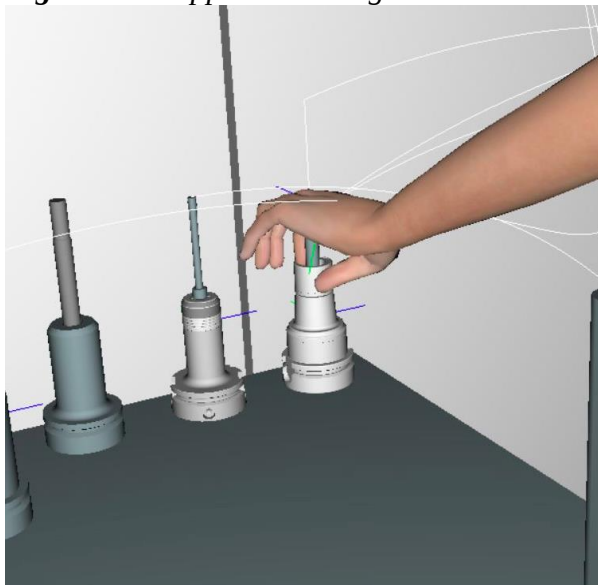
Resultatet blev att båda handlederna behövde roteras, men endast 90 grader istället för 180 grader från neutral position (se figur 23). I simulering 3 roterades istället verktygets startposition 180 grader för att eliminera behovet av att rotera handleden (se figur 22).



Figur 21: Grepp i simulering 1.

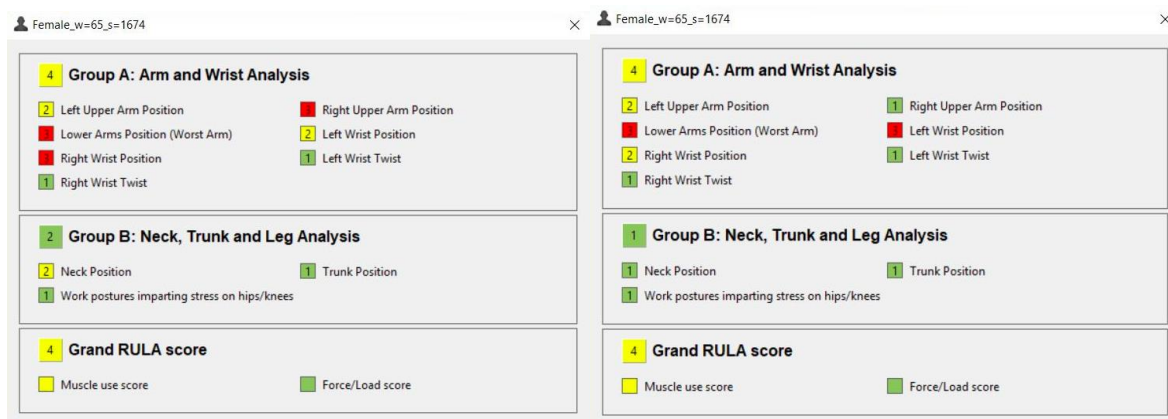


Figur 22: Grepp i simulering 3.



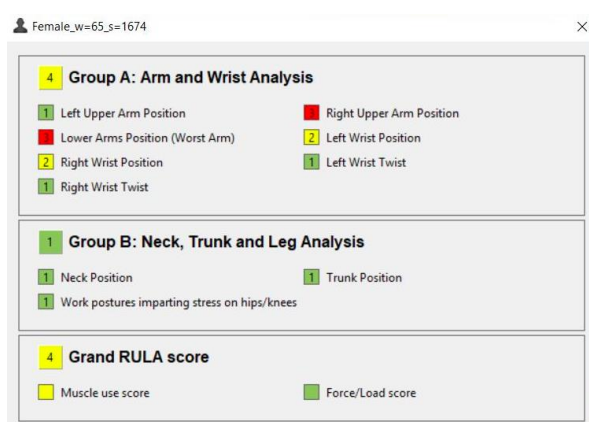
Figur 23: De två olika greppen i simulering 2.

Den ergonomiska analysen visade att belastningen på höger handled minskade, dock uppstod högre belastning på andra kroppsdelar som hade en låg belastning innan (se figur 24 - 26). Problemen flyttades därmed endast till andra kroppsdelar och RULA-Scoren för både grupp A och B samt Grand RULA-Score blev oförändrade. Resultaten av de olika simuleringarna visade dock att det går att utforma nya arbetsinstruktioner som i sin tur kan ändra belastningen på olika kroppsdelar.



Figur 24: RULA-Score för simulering 1.

Figur 25: RULA-Score för simulering 2.



Figur 26: RULA-Score för simulering 3.

5.1.4 Ytterligare funktioner

I IPS IMMA finns det ytterligare funktioner som kan användas för att analysera ergonomi. Det är bland annat möjligt att utföra simuleringar på en hel manikinfamilj. Simuleringen för en manikinfamilj skapas på samma sätt som för en enskild manikin, men istället genereras tio manikiner med olika dimensioner. En ergonomianalys kan sedan utföras på hela manikinfamiljen (se figur 19). Fördelen med att göra en simulering för en hel manikinfamilj är att det tydligt går att urskilja hur resultaten från ergonomianalysen påverkas av manikinernas olika dimensioner. Informationen från ergonomianalysen kan sedan användas som underlag vid utformning av en arbetsstation, och huruvida individer med vissa dimensioner är lämpliga för olika arbetsuppgifter. Det finns även en funktion där det går att se manikins synfält. Det kan användas för att säkerställa att t.ex. en operatör med en viss längd ser det som behöver ses för att utföra ett visst arbetsmoment.

5.2 Simulering Process Simulate Human

I följande kapitel redovisas resultaten som samlats in efter simuleringsarbetet i Process Simulate Human.

5.2.1 Validering

På samma sätt som i IPS IMMA var målet med simuleringen att åstadkomma liknande rörelser som operatören utför i verkligheten. Sekvensen av de arbetsinstruktionerna var möjlig att simulera men vissa grepp och rörelser avviker från verkligheten och därför kommer det inte att läggas någon större vikt vid den data som presenteras av RULA-analysen. Simuleringen i Process Simulate Human kunde däremot användas för att undersöka möjligheterna med programmet och användas i jämförelsen med IPS IMMA.

5.2.2 Ergonomianalys - RULA

I Process Simulate Human går det endast att göra en statisk RULA-analys och resultatet av analysen kan presenteras på två olika sätt. Valet hur resultatet av analysen skall presenteras görs i samband med valet av analysverktyg. Den totala RULA-poängen presenteras antingen i en ruta bredvid manikinen (se figur 27) som uppdateras för varje tidsintervall eller i en rapport som kommer att beskrivas nedan.



Figur 27: Grepp av verktyg i Process Simulate Human.

I den här simuleringen valdes det att presentera en statisk analys när manikinen greppar verktyget från verktygsvagnen för att grovt jämföra resultaten som fås från IPS IMMA. Det går att tyda (se figur 27) att greppet inte är realistiskt och därför läggs ingen större vikt vid beräkningen av den totala RULA-poängen utan fokus låg istället på hur resultatet av analysen presenteras.

När en statisk analys är genomförd skapar användaren en ergonomisk rapport som presenterar hur RULA-poängen beräknas. Rapporten följer samma struktur som RULA-metodiken är beskriven i avsnitt 2.5.1 och poängsättningen av varje ingående kroppsdel presenteras och det förklaras tydligt med bilder för både vänster och höger sida, (se bilaga 2).

Tabell A (se figur 28) presenterar poängen för de kroppsdelar som ingår i grupp A, och Tabell B (se figur 29) presenterar poängen för kroppsdelarna som ingår i grupp B, se teoriavsnitt 2.5.1 för förtydligande. Den totala poängen presenteras i Tabell C som utgår från de värden som beräknats i tabell A respektive B (se figur 30).

TABLE A - Right									
Upper Arm	Lower Arm	Wrist							
		1		2		3		4	
		Wrist	Twist	Wrist	Twist	Wrist	Twist	Wrist	Twist
1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	2	3	2	3	3	3	4	4
2	1	2	2	2	3	3	3	4	4
	2	2	2	2	3	3	3	4	5
	3	2	3	3	3	3	4	4	5
3	1	2	3	3	3	4	4	5	5
	2	2	3	3	3	4	4	5	5
	3	2	3	3	4	4	4	5	5
4	1	3	4	4	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	4	5	5
	3	3	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	7	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	7	8	8	8	8	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9

Figur 28: Tabell A från RULA-Analysen från process Simulate Human.

TABLE B												
Neck	Trunk											
	1 Legs		2 Legs		3 Legs		4 Legs		5 Legs		6 Legs	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

Figur 29: Tabell B från RULA-Analysen från process Simulate Human.

TABLE C Right									
Final A Score	Final B Score								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	2	2	3	4	4	5	6	7	8
3	3	3	3	4	4	5	6	7	8
4	3	3	3	4	5	6	7	8	9
5	4	4	4	5	6	7	8	9	10
6	4	4	5	6	6	7	8	9	10
7	5	5	6	6	7	7	8	9	10
8+	5	5	6	7	7	8	9	10	11

Figur 30: Tabell C från RULA-Analysen från process Simulate Human.

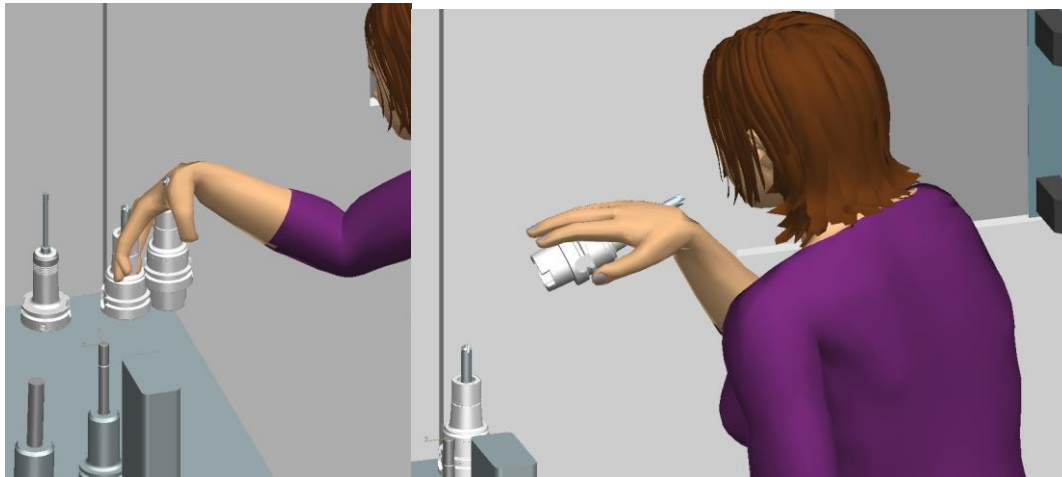
Anledningen till att poängen blir hög i det här fallet kan bero på att höger handled befinner sig i en onaturlig vinkel och om en vidare utredning skulle göras bör fokus vara på hur operatören greppar verktyget. Även om greppet i det här fallet inte är realistiskt är det ändå möjligt att använda den här simuleringen som underlag för vidare utredning där fokus bör vara på att erhålla mer realistiska grepp och rörelser. Värt att påpeka är att projektets omfattning inte skall presentera några lösningar till ergonomiska problem. RULA-analysen gjordes för att visa hur Process Simulate Human presenterar utdata från den här typen av analys och för att jämföras med hur utdata presenteras i IPS IMMA.

5.2.3 Analys

Det lades stor vikt vid att åstadkomma verklighetstroga grepp och rörelser men den slutgiltiga modellen avviker något från verkligheten. Greppet som manikinen skulle ta vid förflyttning av verktyget från verktygsvagnen till verktygshållaren i GROB-maskinen innebär en 180 graders rotation av höger handled från neutral position men var inte möjlig att åstadkomma (se figur 31). En anledning till det kan vara att det finns begränsat med möjligheter att ändra toleransen för hur exakt greppet måste vara.

Båda greppen som visas i bilderna nedan är de mest kritiska då båda innebär rotation av handleden och avviker en betydande del från verkligheten. På grund av denna avvikelse blir det utifrån simuleringen svårt att göra en rättvis ergonomianalys eftersom en operatör inte hade greppat verktyget på ett sådant sätt.

Ett överhandsgrepp som kräver rotation för både handled och axelled bekräftas av Per-Olof Åberg från Siemens vara svåra att åstadkomma vid manuell modellering och är därför svåra att visualisera.



Figur 31: Grepp av verktyg. **Figur 32:** Grepp av verktyg.

Grepp och förflyttning av objekt sker med “get” och “put” och en konsekvens av detta är att användaren har begränsad möjlighet att påverka hur manikinen rör sig vid förflyttningen av objektet. Samma problematik uppstod när manikinen skulle förflytta verktyget från verktygshållaren till verktygsvagnen vilket också innebär att hand- och axelled roterades (Se figur 32). Svårigheterna med att påverka manikinen rörelse påverkar också den utdata som erhålls från de olika analysverktygen då den utdata som presenteras baseras på hur manikinen faktiskt rör sig i simuleringen.

5.2.4 Ytterligare analysmetoder

I process Simulate finns det flera möjligheter att analysera ergonomi på. De analysverktyg som finns är:

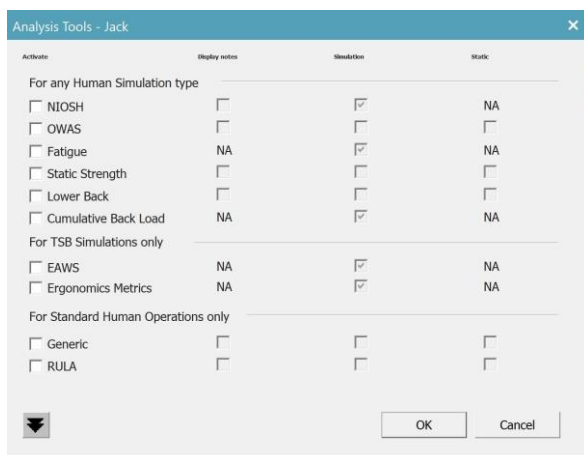
- RULA
- OWAS
- NIOSH
- Lower back
- Cumulative back load
- EAWS
- Static Strength
- Ergonomic metrics
- Fatigue
- Generic

I det här avsnittet kommer inte varje analysverktyg att beskrivas, men några beskrivs i teoriavsnitt 2. Ergonomic metrics kommer att kortfattat beskrivas då det anses vara ett användbart verktyg. I menyn under “Analysis Tools” går det att välja vilket verktyg som skall användas (se figur 33), men det är också möjligt att välja analysverktyg direkt i “Task Simulation Builder”.



Figur 33: Val av analysmetoder i Process Simulate Human.

Det är viktigt att veta vad de olika verktygen presenterar för data och vad de räknar på innan analysen genomförs. Därför rekommenderas det att simuleringsingenjören tillsammans med en ergonom samarbetar för att på ett produktivt sätt kunna analysera den data som presenteras (Lämkull et al., 2008). Då Process Simulate Human erbjuder många alternativ att analysera ergonomi är det viktigt att rätt analysverktyg används för det specifika ändamålet och att det finns en tydlig arbetsprocess för hur utdata skall analyseras och följas upp (Lämkull et al., 2008).



Figur 34: Val av analysmetoder i process Simulate Human.

Det finns tre olika sätt att presentera data från de olika analysverktygen (Se figur 34), men alla alternativ är inte möjliga för samtliga analysverktyg. Vissa verktyg presenteras Statistiskt vilket innebär att en ögonblicksbild i simuleringen analyseras och utdata är möjligt att erhålla för den specifika positionen t.ex. manikinen befinner sig i. Det andra alternativet är att data presenteras i en ruta bredvid manikinen där värdena beräknas för varje tidsintervall i simuleringen. Det sista alternativet sammanställer data för hela simuleringen och presenteras på olika sätt beroende på vilket analysverktyg som används. När simulering genererats går det att presentera den ergonomiska rapporten i "Report Viewer" där data sammanställs för de analysverktyg som är valda.

Analysverktyget Ergonomic metrics kan vara användbart då det presenterar hur länge varje kroppsdel befinner sig i en viss position under t.ex. en arbetscykel. Genom att ange hur länge en operatör arbetar på en dag och hur många gånger arbetsuppgiften utförs presenteras hur ofta operatören befinner sig i dåliga positioner ur ergonomisynpunkt. Data presenteras i form av cirkeldiagram med färgerna grön, gul och röd för varje ingående kroppsdel, där grön betyder att positionen för den ingående kroppsdelen har låg risk för ergonomisk belastning och röd innebär högre risk för ergonomisk belastning. Rapporten erhålls genom ett excel-dokument (se bilaga 1).

5.2.5 Ytterligare funktioner

Motion Capture är ett användbart alternativ för att generera en simulering. Det finns motion capture-dräkter som gör det möjligt att utföra rörelser i verkligheten som sedan överförs till Process Simulate Human och visualiseras med en manikin. Utifrån en sådan simulering är det sedan möjligt att analysera ergonomin på det verkliga systemet med hjälp av de analysverktyg som finns i programmet. En fördel med det är att grepp och rörelser blir mer verklighetstroga vilket kan leda till att ergonomianalysen genererar mer pålitliga resultat. Det är även möjligt att kombinera Motion Capture med Virtual Reality där en operatör kan utföra t.ex. de arbetsmomenten vid en viss station i virtuell miljö innan stationen finns på plats i verkligheten. Det öppnar även upp möjligheten för operatörsträning vid stationer som ännu inte finns.

En ytterligare funktion som är användbar är möjligheten se manikinens synfält vid utförandet av ett arbetsmoment. Att operatören kan se det som är nödvändigt är en bidragande faktor till bra eller dålig ergonomi och huruvida arbetsstationen är bra utformad eller inte. Begränsat synfält kan resultera i att t.ex. en operatör behöver infinna sig i positioner som kan vara en bidragande faktor till dålig ergonomi (Corlett, 1981). Grasp Envelope är en annan användbar funktion som gör att det är möjligt att erhålla information om operatörens räckvidd.

I Process Simulate Human finns databaser som innehåller information om olika människors antropometri vilket kan vara användbart vid utformning av en arbetsstation. Genom att använda sig av olika dimensioner på manikinen är det möjligt att utforma en arbetsstation för en bred majoritet av människor med hänsyn till flera aspekter såsom, räckvidd, rörlighet och styrka. Det kan vara så att det är begränsningar i det verkliga systemet med hänsyn till kringliggande geometrier, arbetsmoment eller synfält och då är det möjligt att avgöra om en viss person är lämpad att arbeta vid den tänkta stationen eller inte.

5.3 Ekonomiska och sociala aspekter

Efter att ha utfört projektet har det blivit tydligt att det är svårt att göra en uppskattning om hur företagets ekonomiska och sociala situation skulle påverkas av en investering i ett ergonomisimuleringsprogram. Det gick inte att få fram någon siffra på vad de olika programvarorna kostar då priset bestäms individuellt för varje kund. Det görs eftersom programvarorna anpassas efter kundens önskemål och kan ingå i ett paket med flera program och licenser. Intervjuer har utförts med företagshälsovård, skyddsombud och HR-avdelningen för att försöka ta reda på vad ergonomiska problem kostar företaget. Det visade sig dock vara svårt att få en uppfattning om hur mycket ergonomiska problem kostar GKN Aerospace idag då det inte förs någon statistik specifikt på just ergonomiska problem. Det finns endast statistik på sjukskrivningar och där görs ingen skillnad på vanlig sjukdom, vanlig skada eller ergonomisk förslitningsskada.

6. Diskussion

I följande avsnitt förs en diskussion och utvärdering av IPS IMMA och Process Simulate Human och sedan en avslutande diskussion om de ekonomiska och sociala aspekterna som är kopplade till ergonomi.

6.1 Utvärdering av Validering och verifiering

Valet gjordes att vi själva skulle utföra validering och verifiering i samråd med personer som har en djupare förståelse för systemet. Det är viktigt att påpeka att vi har en bristande kunskap inom både ergonomi och simulering, därför bör valideringen tas med försiktighet då en ergonom eller simuleringsingenjör kanske inte hade validerat samma simulering. Vissa parametrar såsom grepp och rörelser tilläts skilja lite från det verkliga systemet så länge tillräckligt realistiska resultat kunde uppnås för att besvara frågeställningen. En exakt kopia av det verkliga systemet behöver inte nödvändigtvis erhållas för att besvara frågeställningen.

Kraven sattes även något lägre då det fanns en begränsad kunskap om programvarorna och svårigheter att få tillräckligt med hjälp att optimera simuleringarna. För att genomföra en mer pålitlig validering hade det varit nödvändigt att samarbeta med en ergonom som lättare skulle kunna identifiera brister med simuleringen. Ytterligare en brist i valideringen är att vi endast utgått från hur vi kom ihåg att arbetet utfördes, ett bättre alternativ hade varit att jämföra simuleringen med en videoinspelning på den verkliga arbetssekvensen för att på så sätt åstadkomma mer exakta grepp och rörelser.

Simuleringsmodellerna var relativt enkla att verifiera då en befintlig station användes som utgångspunkt vid simuleringen och den verkliga stationen kunde studeras på plats. Konceptuellt var tanken att manikinen skulle gå fram och tillbaka mellan olika platser och sedan utföra 15 - 20 verktygsbyten i samma simulering. Dock framgick det under modellbyggandet att det blev väldigt krävande i praktiken och valet gjordes att låta manikinen stå kvar på samma plats och endast montera och demontera ett och samma verktyg. Alla rörelser som var nödvändiga för att analysera ergonomin ingick i simuleringen. Beslutet att förenkla simuleringen ska inte ha påverkat resultatet eller möjligheten att svara på frågeställningen, utan gav endast en marginellt försämrad visualisering. Därav skilde den konceptuella modellen en del från den verkliga men den stämde tillräckligt bra för ändamålet och gav de utdata som behövdes för arbetet och kunde därmed verifieras.

När en jämförelse sedan gjordes mellan modellerna och deras utdata med det verkliga systemet framgick det att vissa delar skilde sig från verkligheten. Då greppet i det verkliga systemet skapar en ganska onaturlig vinkel för handleden uppstod det problem att överföra greppet i simuleringen på ett tillfredsställande sätt. Resultatet av det kan bli att den ergonomiska analysen inte ger en helt rättvisande bild av rörelsen. Övriga grepp var även de svåra att konvertera till modellen på ett tillfredsställande sätt, men de var inte långt ifrån. Det var även svårt att få manikinen att röra sig exakt som i verkligheten och det uppstod en del onaturliga rörelser som kan ha påverkat resultatet av den ergonomiska analysen.

Simuleringsmodellen i IPS IMMA såg relativt bra ut rent visuellt medan modellen i Process Simulate Human inte höll lika hög nivå. Resultatet av ergonomianalysen gav däremot resultat som liknar dem i verkligheten och det var tydligt att handlederna utsattes för en hög belastning precis som det uppges vara i verkligheten.

När diagrammen från ergonomianalysen i IPS IMMA studerades gick det att urskilja höga toppar i grafen under korta tidsperioder vilket kan konstateras vara orealistiskt. Det berodde troligtvis på att manikinen inte kunde röra sig, samt ta de grepp som var tänkta tillräckligt bra. Även om modellen skiljer en del från verkligheten så ansågs den vara tillräckligt bra för ändamålet då fokus låg på att se om det är möjligt att identifiera ergonomiska problem med ett simuleringsprogram. IPS IMMA lyckades bekräfta de ergonomiska problem som faktiskt uppstår i verkligheten även om det är önskvärt att göra modellen mer verklighetstrogen för att öka resultatens pålitlighet. Modellen i Process Simulate Human höll tillräckligt hög nivå för att användas som jämförelse även om greppen ansågs vara för långt ifrån verkligheten för att lägga vikt den ergonomiska utdatan.

6.2 Utvärdering IPS IMMA

Det är viktigt att förtydliga att vi endast har genomgått fyra timmars utbildning inom IPS IMMA och endast haft möjlighet att få hjälp på distans. Därför är det möjligt att vissa funktioner har missats och problem uppstått som lätt skulle kunna ha lösts annars.

Även om kunskapen om programmet har varit låg upplevdes det relativt lätt att använda. Det finns tydliga symboler som hjälper användaren att navigera och namnen på symbolerna dyker upp om man håller musen över dem. De olika funktionerna visas tydligt och logiken är relativt lätt att förstå även med bristande kunskap, vid osäkerhet kan även information sökas upp i manualen. Skapade grepp och rörelser samt infogade objekt presenteras tydligt i ett "träd" och är lätta att hitta.

De olika funktionerna som används för att generera en simulering var grepp och förflyttning av objekt. Rörelserna var lätta att skapa och det var lätt att flytta och rotera objekten dit man ville, det finns även en minnesfunktion som gör att objektet återgår till den valda ursprungspositionen vid behov. Förflyttningen kunde göras genom att skriva in koordinater, genom manuell förflyttning låst till valfri axel eller helt manuellt i alla riktningar. Greppen var mer problematiska, det var visserligen lätt att placera ut greppen och justera dem så som man ville ha dem. Men när simuleringen sedan genererades uppstod det problem med att manikinen inte kunde ta det önskade greppen på ett tillfredsställande sätt, och greppen behövde då justeras, vilket var en tidskrävande process. Det gick att bestämma frihetsgrader för att låta greppet skilja lite från det bestämda för att ge manikinen mer frihet att optimera sina grepp och rörelser.

Verktyget som användes för att generera simuleringarna var simpelt och lätt att använda. Det som behövde infogas var den aktuella manikinfamiljen och de objekt som var tänkta att förflyttas. De grepp och rörelser som tidigare skapats finns sparade i "trädet" och behöver inte återskapas vid varje simulering. Sedan var det bara att dra rätt operation i form av grepp eller rörelse till simuleringssekvensen och sammanlänka med de andra händelserna för att de skulle hamna i rätt ordning (se figur 10). Sedan kan tiden varje moment tar justeras för att motsvara det verkliga utförandet bättre. Dock uppstod det problem med grepp och rörelser vid några simuleringar. Trots att en funktion användes för att manikinen skulle återgå till en neutral position mellan händelser behålls ibland dåliga grepp och vinklar på kroppsdelar, som i sin tur troligtvis påverkade ergonomianalysen negativt. När nya grepp och rörelser lades till i simuleringsverktyget kunde även tidigare händelser påverkas negativt, grepp som tidigare varit tillfredsställande kunde inte längre tas. Det var en tidskrävande process att lösa de problemen och det är oklart varför de uppstod.

Det tog relativt lång tid att generera en simulering, beroende på omständigheterna brukade det ta ca 2 - 4 minuter. Det var problematiskt då greppen behövde justeras många gånger innan manikinen kunde ta dem tillfredsställande, ibland ett tjugotal gånger. Att justera greppet tog ca 20 sekunder, och man fick sedan vänta 2 - 4 minuter för att se om det blev tillfredsställande eller ej. Det tog även ca 2 - 4 minuter att både spara och ladda filer. När filerna som användes hade sitt ursprung i GKN:s nätverksdisk kunde det ta uppemot 30 minuter för att spara en fil, därför flyttades alla filer över till datorns hårddisk för att spara tid.

Bortsett från den tidskrävande processen att justera grepp var det relativt lätt att skapa bra simuleringar som stämde tillräckligt bra överens med verkligheten för att kunna valideras. Visualiseringen var snygg överlag och rörelserna var relativt mjuka och såg realistiska ut, dock gjordes mindre förenklingar och vissa grepp skilde lite från verkligheten. Realistiska resultat kunde fås ut från ergonomianalysen och förbättringar kunde testas och skapas som då gav underlag för att besvara frågeställningen.

6.3 Utvärdering Process Simulate Human

Innan modellen kunde byggas i Process Simulate Human fanns det ingen möjlighet att få någon utbildning i programmet på samma sätt som i IPS IMMA vilket gjorde det något mer komplicerat att bygga modellen. Som nämnts tidigare kunde utbildningsmaterial tillhandahållas från Siemens hemsida och experthjälp på distans var möjligt att få under simuleringsprocessen. En konsekvens av det är att de resultat som presenterats kan innehålla en del brister på grund av bristande kunskap från vår sida och vidare utvärdering av programmet kan vara nödvändigt för att erhålla bättre förståelse för möjligheterna med programmet. Inledningsvis hjälpte personal från Siemens till med att modellera delar av arbetssekvensen som sedan användes som grund för det fortsatta arbetet. Värt att påpeka är att de funktioner och analysverktyg som använts är begränsat till den modell som simulerats vilket innebär att det finns utrymme för en djupare utvärdering för att på så sätt göra en mer rättvis bedömning av programmet. Vid utvärderingen har den fristående varianten Process Simulate Human Disconnected används och därför är det även möjligt att vissa relevanta funktioner inte har varit tillgängliga.

Ett problem som tidigt konstaterades var svårigheten att åstadkomma verklighetstroga grepp och rörelser som till stor del påverkar möjligheten att göra en rättvis ergonomianalys. Även fast det fanns väldigt många funktioner för att styra manikinens rörelser upplevdes det finnas begränsningar för användaren att påverka hur manikinen faktiskt rör sig. Ett tydligt exempel på det är när manikinen skulle greppa och förflytta verktyget från verktygsvagnen till hållaren i GROB-maskinen. Den bana som verktyget förflyttas längs sker automatiskt och hur manikinen rör sig begränsas till stor del till hur det första greppet tas. Beroende på hur komplicerat greppet är påverkas visualiseringen av rörelsen vid förflyttningen och manikinens rörelser upplevs vara något ryckiga. I modellen var det första greppet svårt att åstadkomma då det innebar en kraftig rotation av höger handled som sedan resulterade att både greppet och rörelsen inte var realistisk. När grepp skapas i Task Simulation Builder finns det flera inställningar för att ändra greppet, det ges både möjligheten att använda färdiga grepp men även konstruera egna. En problematik som uppstod var att det inte fanns någon möjlighet att bestämma några toleranser på hur exakt greppet måste vara utan manikinen tar greppet väldigt exakt när det skapas i TSB. En konsekvens av det är att komplicerade grepp blir svåra att visualisera vilket går att se i modellen.

Utöver vissa svårigheter med grepp är det relativt enkelt att bygga en simuleringsmodell i Task Simulation Builder. Strukturen är väldigt tydlig och det är enkelt att i efterhand göra ändringar på grepp och rörelser då det ges många möjligheter att manipulera manikinen. En anledning till att modellen som byggdes innehåller en del brister beror till stor del på att alla funktioner och verktyg inte testats på grund av tidsbrist. Det är garanterat så att det är möjligt att åstadkomma en mer exakt simulering med mer tid i programmet. En stor fördel med Process Simulate är att det finns många analysverktyg och möjligheter att analysera ergonomi. Det svåra är att få till visualiseringen på ett tillfredsställande sätt så att det går att göra en rättvis ergonomisk bedömning.

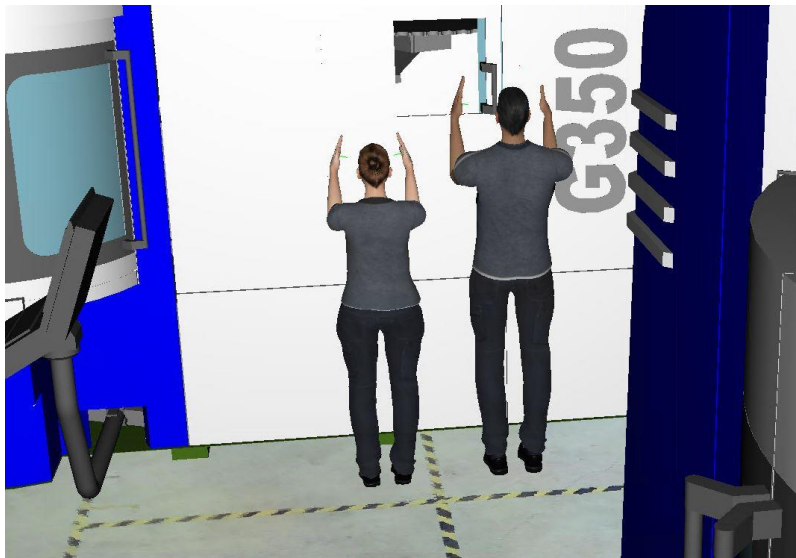
6.4 Ergonimisimulering

Att använda sig av IPS IMMA och Process Simulate Human för ergonimisimulering bör under rätt förutsättningar fungera bra. För att det ska fungera tillräckligt bra är det viktigt att användaren har en djup kunskap inom respektive program, har tillräckligt med tid för att optimera modellen och även förstår hur de ergonomiska analysmetoderna gör sina beräkningar. Det är en tidskrävande process att optimera en bra simulering och det är även viktigt att den valideras ur ergonomisk synpunkt. För att validera modellen bör användaren förstå hur beräkningarna utförs för att kunna avgöra om resultaten är rimliga och även samarbeta med ergonomer för att öka validiteten. Det här arbetet har visat att det med ergonimisimulering är möjligt att upptäcka ergonomiska problem och sedan utveckla nya arbetsinstruktioner.

En förutsättning för att kunna utföra den här typen av simuleringar, både på befintliga stationer, men även innan en fysisk station existerar behövs samtliga CAD-modeller för de maskiner, verktyg och kringliggande geometrier som ingår i stationen. Under förutsättningen att CAD-modeller erhålls i planeringsstadiet av en arbetsstation kan en ergonomianalys utföras för att undvika att behöva göra efterkonstruktioner när stationen väl är på plats. Det är billigare och enklare att göra förändringar av en station innan den existerar fysiskt (Berlin & Adams, 2017).

För att på ett effektivare sätt kunna utföra den här typen av ergonimisimulering bör möjligheten med Motion Capture och Virtual Reality (VR) undersökas vidare. Med Motion Capture är det möjligt att göra manikinens rörelser mer exakta och på så sätt kunna göra mer noggranna ergonomianalyser, samt att det kan spara tid eftersom det är en tidskrävande process att konstruera grepp och rörelser manuellt. Med VR är det möjligt att låta en operatör eller montör utföra arbetsmoment vid en station som inte existerar fysiskt och kan både användas för att analysera ergonomi men även i utbildningssyfte.

Ett exempel där ergonimisimulering skulle kunna ha använts för att förebygga problem var när GROB-maskinerna i X-verkstaden införskaffades. En viktig detalj som glömdes bort var placeringen av luckan till verktygshållaren då denna var placerad för högt upp. Konsekvensen av det blev att stationerna behövde kompletteras med trappor och höj- och sänkbara verktygsvagnar för att operatören vid stationerna skulle kunna byta verktyg. Hade en ergonimisimulering utförts i början av anskaffningsprocessen skulle problemet sannolikt kunna ha undvikits.



Figur 35: Station utan trappa och verktygsvagn.

6.5 För- och nackdelar med IPS IMMA och Process Simulate Human

Programvarorna hade lite olika funktioner och fungerade olika bra. När det kom till användarvänlighet upplevdes IPS IMMA var något bättre då det gavs mer frihet till att göra manuella justeringar av grepp och rörelser. IPS IMMA använder sig endast av RULA som analysmetod i standardutförande, men det är möjligt för företag att implementera egna analysmetoder vid behov. Process Simulate Human har fördelen att det ingår tio olika analysmetoder, det gör det lätt och möjligt att analysera ergonomi vid fler scenarion. Det tog betydligt längre tid för IPS IMMA att ladda, spara och generera filer än vad det tog för Process Simulate Human. Process Simulate Human är kompatibel med Motion Capture som är användbart för att skapa realistiska rörelser, den möjligheten finns inte i IPS IMMA i nuläget men det håller på att utvecklas. Båda programvarorna kan användas tillsammans med VR-utrustning och de har även en funktion som gör att det går att se manikins synfält. Process Simulate Human har en ytterligare funktion som kallas för grasp envelope som används för att analysera en individs räckvidd.

6.6 Ekonomiska och sociala aspekter

Som nämnts under resultatet var det svårt att göra någon uppskattning om vad det skulle bli för ekonomiska effekter av att börja arbeta med ergonomisimulering, och det är enligt Berlin (2017) ofta svårt att få en siffra på det. Det finns ingen statistik kopplat till ergonomi att utgå ifrån, men paralleller kan dras till teorin. Ergonomiska problem resulterar ofta i kostnader i form av t.ex. sjukskrivningar, kvalitetsbrister och lägre produktivitet (Rose & Orrenius, 2006; Berlin & Adams, 2017; Falck et al, 2009). De negativa konsekvenserna påverkar inte bara företaget, företagets anställda och hela samhället påverkas också negativt. Det finns därmed mycket att tjäna på att förbättra ergonomin genom ergonomisimulering. Det är svårt att ge en siffra på hur ekonomin skulle påverkas, men teorin talar för att det kan vara lönsamt. Att arbeta mer med ergonomi kan även ge positiva resultat i form av en ökad goodwill och bättre rykte när de anställda upplever att företaget anstränger sig för att de ska få det bättre (Rose & Orrenius, 2006; Berlin & Adams, 2017). De negativa konsekvenserna som kan uppstå på grund av dålig ergonomi är sannolikt något som är aktuellt även för GKN Aerospace, därför bör en djupare undersökning av effekterna göras.

7. Slutsats

Efter att ha genomfört simuleringar i IPS IMMA och Process Simulate Human blev det tydligt att det går att upptäcka ergonomiska problem. Det var möjligt genom ergonomianalys och visualisering av operatörens grepp och rörelser identifiera potentiella risker. Utifrån resultaten var det sedan möjligt att ändra operatörens rörelsemönster och på så sätt erhålla bättre ergonomi. För att ergonomisimulering ska fungera tillräckligt bra behöver det användas tillsammans med Motion Capture för att erhålla mer exakta rörelser. Simuleringar kan även utföras innan en fysisk station existerar och det är då i ett tidigt skede möjligt att avgöra om en arbetsstation är bra eller dåligt utformad. Med ergonomisimulering är det därför möjligt att på ett effektivare sätt utforma nya arbetsstationer då förändringar kan testas virtuellt innan det implementeras i verkligheten.

Som nämnt i diskussionen gick det inte att få fram underlag för hur stora dessa problem är i nuläget och det är därför svårt att uppskatta konkreta effekter som ergonomisimulering kan medföra. Det framkommer av teorin att dålig ergonomi kan medföra förhöjda kostnader och orsaka negativa konsekvenser för de anställda. Därför dras slutsatsen att även GKN Aerospace kan minska sina kostnader och förbättra situationen för sina anställda.

8. Hållbarhet och etiska ståndpunkter

Att börja arbeta med ergonomisimulering kan komma att ge flera positiva effekter när det kommer till både hållbarhet och etik. Målet med ergonomisimulering är att minska ergonomiska problem, och en minskning av dessa problem bör enligt teorin leda till kostnadsbesparingar för både företag, enskilda individer och samhälle. Det är något som kan bidra till en mer hållbar ekonomi men är även viktigt då det inte är hållbart att anställda sliter ut sig och får problem med att både jobba och leva sina privatliv. Att företag inte gör allt de kan för att förbättra ergonomin för sina anställda är oetiskt och det är inte heller hållbart att eventuella kortsiktiga ekonomiska mål ska drabba anställdas fysiska och psykiska hälsa negativt.

Referenser

- Arbetsmiljöverket. (2010). *Samhällsekonomiska kostnader för arbetsmiljöproblem* (Rapport 2010:2). Hämtad den 12-04-2020 från:
<https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/kunskapssammanstallningar/samhallsekonomiska-kostnader-arbetsmiljoproblem-kunskapssammanstallning-rap-2010-02.pdf>
- Arvidsson, H. (2020). Skyddsingenjör på företagshälsovården, (personlig kommunikation, 28 Januari 2020)
- Berglund, J. (2019). *Learning In a Virtual Environment*. [PowerPoint-presentation]. Hämtad 14-03-2020 från:
https://chalmers.instructure.com/courses/7462/files/319353?module_item_id=53913
- Berlin, C. och Adams, C. (2017). *Production ergonomics: Designing Work Systems to Support Optimal Human Performance*. London: Ubiquity Press Ltd. Hämtad 21-01-2020 från:
<https://www.academia.edu/33715651/production-ergonomics.pdf>
- Blomé, M., Dukic, T. , Hanson, L., och Högberg, D. (2003). Simulation of Human-Car Interaction at Saab Automobile: Present and Future. I: Proceedings of the 2003 SAE Digital Human Modelling for Design and Engineering Conference and Exposition, Montreal, Canada, SAE 2003-01-2192.
- Canadian Centre of Occupational Health and Safety. (2007). Calculating Recommended Weight Limit (RWL). Hämtad 2020-04-08 från:
https://www.ccohs.ca/oshanswers/ergonomics/niosh/calculating_rwl.html
- Corlett, E.N. (1981). Pain, posture and performance. In: Stress, Work Design and Productivity. Corlett E.N. and Richardsson, J. (Eds.). London, UK, Wiley, pp. 27-42.
- Cushman, W.H., Nielsen, W.J., and Pugsley, R.E. (1983). Workplace design. In: Ergonomic design for people at work 1. Eastman Kodak (Ed.). Belmont, USA. Lifetime Learning Publications.
- Davis, P. K. (1992). Generalizing Concepts of Verification, Validation and Accreditation (w&A) for Military Simulation. R-4249-ACQ, October 1992, RAND, Santa Monica, CA.
<Referens i file:///Users/danielsandqvist/Downloads/268437.268448.pdf>
- Dukic, T., Rönnäng, M., Örtengren, R., Christmansson, M., and Davidsson, A. (2002). Virtual Evaluation of Human Factors for Assembly Line work: A case study in an Automotive Industry. In: Proceedings of the Digital Human Modelling Conference, Munich, Germany. SEA 2002-07-0033.
- Ergonomics plus inc, (u.å). Step-by-step Guides to Recommended Ergonomic Assessment Tools [Broschyr]. Hämtad 03-04-2020 från:
<https://attachments.convertkitcdn.com/172202/23909674-06aa-4398-ba9e-b7a956027676/Step-by-Step%20Guides.pdf>

Falck, A-C., Örtengren, R., Högberg, D. (2009). The Impact of Poor Assembly Ergonomics on Product Quality: A Cost-Benefit Analysis in Car Manufacturing. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing and Service Industries*. 20(1). 24-41. doi: 0.1002/hfm.2017

Jäger, M., & Luttman, A. (1999). Critical survey on the biomechanical criterion in the NIOSH method for the design and evaluation of manual lifting tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*. Vol 23 (4). s 331 – 337. Hämtad 07-03-2020 från:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169814198000493?via%3Dihub>

Karhu, O., Kansi, P., och Kuorinka, I. (1977). Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. *Applied Ergonomics*. s. 199 – 201.

Keyvani, A. (2014). *Structuring and Use of Motion Data for Computer Manikin Work Task Simulations*. (Doktorsavhandling, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg).

Kivi, P., & Mattila, M. (1991). *Analysis and improvement of work postures in the building industry: Application of the computerised OWAS method*. *Applied ergonomics*. Vol 22(1)
Hämtad Från:
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/0003687091900097?token=3E9A74B8E5BE61DAF6BAABB77BE2270B62DED1B6C67687329F210ED70E00F134315ED91478738586A0B24A6A8609261F>

Konz, S. (1983). *Work Design: Industrial Ergonomics*. Columbus, Ohio, USA. Grid Publishing, Inc

Lockett, J.F., Assmann, E., Green, R., Reed, M.P., Rascke, R., and Verriest, J-P. (2005). Digital Human Modeling Research and Development User Needs Panel. In: *Proceedings of the 2005 SAE Digital Human Modeling for Design and Engineering Symposium*, June 14-16, Iowa City, Iowa, USA. SAE 2005-01-2745.

Lowe, G. (2003). "Healthy workplace and productivity: a discussion paper" citerad av Bergström M (2005) "The potential method – an economic evaluation tool" *Journal of Safety Research – ECON proceedings*, vol 36, s 237–240.

Lasota, A. M. (2014). *Packers workload assessment - Using The OWAS Method*. University of Zielona Góra, Polen. Hämtad 04-27-2020 från:
https://www.researchgate.net/publication/263469827_Packer's_workload_assessment_using_the_OWAS_method

Lämkull, D., Berlin, C. and Örtengren, R. (2008). *DHM - Evaluation Tools. I: Handbook of Digital Human Modeling: Research for Applied Ergonomics and Human Factors Engineering*. Duffy, V.G. (Ed.). Taylor & Francis, CRC Press. ISBN 978-0805-85-646-0.

Lämkull, D., Örtengren, R. and Malmsköld, L. (2008). *DHM in Automotive Manufacturing Applications*. In: *Handbook of Digital Human Modeling: Research for Applied Ergonomics and Human Factors Engineering*. Duffy, V.G. (Ed.). Taylor & Francis, CRC Press. ISBN 978-0805-85-646-0.

McAtamney, L., & Corlett, E. N. (1993). RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Applied Ergonomics*, 24(2) S. 91-99. Hämtad 03-03-2020 från:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/000368709390080S>

Musselman, K. J. (1994). Guidelines for simulation project success. *Winter Simulation Conference Proceedings*, Los Angeles, CA and Piscataway, NJ, IEEE, pp.88-95

Nordgren, W.B. (1995). *Steps for proper simulation project management*. I Proceedings of the 1995 Winter simulation conference, ed. C.Alexopoulos, K. Kang, W.R. Lilegdon, och D. Goldsman. Hämtad från:

https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/224401.224425?casa_token=80u1Z-wE5WMAAAAA:XnWwObhZHOO1D-UWB1teE3NWrmBjnxvzrHpLUuJsgYIj55MD94qrF1BM2_rNZhZ9yvAkjqICM-2o6Ow

Norman, V. & Banks, J. (1998). *Managing the Simulation Project*. In: Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice, J. Banks ed. Wiley & sons, New York, pp.745-764

Robinson, S. (1997). SIMULATION MODEL VERIFICATION AND VALIDATION: INCREASING THE USERS' CONFIDENCE'. I: Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference ed. S. Andradbttir, K. J. Healy, D. H. Withers, and B. L. Nelson. Hämtad från:

<https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/268437.268448>

Roe, R.W. (1993). Occupant packaging. I: *Automotive Ergonomics*. Peacock, B. and Karwowski, W. (Eds). London, England. Taylor & Francis, pp. 11-42.

Rose, L., & Orrenius, U. (2006). *Beräkning av arbetsmiljöns ekonomiska effekter på företag och organisationer (NR 2006:18)*. Hämtad 27-04-2020 från: <http://hdl.handle.net/2077/4362>

Rudqvist, A. (2020). Systemägare Robotics, Simulation & OLP. (personlig kommunikation, 30 Januari 2020)

Rönnäng, M., Lämkuil, D., Dukic, T., and Örtengren, R. (2004). Task-related Field of View Parameters. I: SAE 2004 Transactions Journal of Aerospace and proceedings of the 2004 SAE Digital Human Modeling for Design and Engineering Symposium, Rochester, Michigan, USA, SAE 2004-01-2195.

Samuelson, B., & Andersson, B. (2002). Varför lämnar byggnadsarbetare branschen – en enkätundersökning. BCA 2002:1, Bygginustrins Centrala Arbetsmiljöråd, Stockholm. Hämtad från:

https://scholar.google.com/scholar?hl=sv&as_sdt=0%2C5&q=ekonomi+ergonomi&btnG=

Sargent, R. G. 1982. Verification and validation of simulation Models. Chapter IX in *Progress in Modelling and Simulation*, ed. F. E. Cellier, 159-169. London: Academic Press.

Sargent, R. G. 1984. Simulation model validation. Kapitel 19 i *Simulation and Model-Based Methodologies: An Integrative View*, ed. T. I. Oren, B. P. Zeigler, and M. S. Elzas, 537-555. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag.

Sargent, R.G 2004. VALIDATION AND VERIFICATION OF SIMULATION MODELS. In: Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference. G. Ingalls, M. D. Rossetti, J. S. Smith, and B. A. Peters. Hämtad 17-02-2020 från:
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1371298>

Scott, G. B., & Lamble, N. R. (1996). Working practices in a perchery system, using the OVAKO Working posture Analysing System (OWAS). Hämtad från:
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/0003687096000099?token=ACBB1D6BF9634CB70573DBFB824C0AF3BB6B2FA5F51C228C98322ABB98D903C2CF2A676C241E3B457BFE1235769A1F9E>

Stevenson, M. G., & Baidya, K. (1987). 'Some guidelines on repetitive work design to reduce the danger of tenosynovitis' in Stevenson, M G. Readings in RSI. The ergonomics approach to repetition strain injuries New South Wales University Press, Sydney.

Ström, L. (1990) Pengarna och livet. Arbetsekonomi. Arbetsmiljöfonden, Stockholm

Thorsell, J. (2020). Skyddsombud. (personlig kommunikation, 5 Februari 2020)

Ulgen, O.M., Black, J.J., Johnsonbaugh, B., Klungle, R. (u.å). *Simulation methodology - a practitioner's perspective*. Michigan: Michigan Simulation User Group. Hämtad 22-02-2020 från: https://scholar.google.com/scholar?hl=sv&as_sdt=0%2C5&q=ulgen+simulation&btnG=

University of Michigan, (2020). 3DSSP SOFTWARE. Hämtad 2020-04-08 från:
<https://c4e.engin.umich.edu/tools-services/3dsspp-software/>

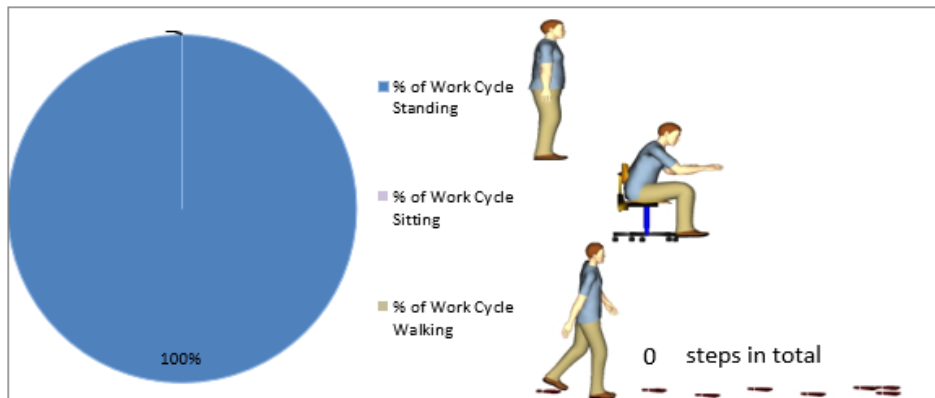
Waters, R., Putz-Anderson, V., Garg, A. & Fine, L. J. (1993). Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics*, 36(7), s 749–77.

Bilagor

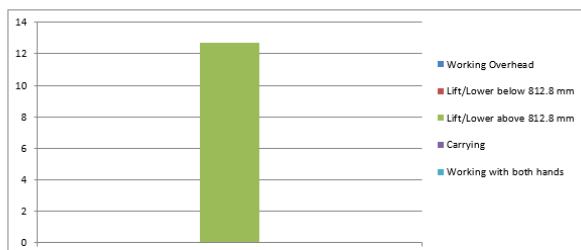
Bilaga 1: Ergonomic Metrics i Process Simulate Human

JobTitle:	TSB_Simulation_CC_Jack
Date:	27-apr-20
Work Cycle Time:	5,2
Human:	Jack
Notes:	
Linear Unit:	mm
Mass Unit:	kg

Mobility:



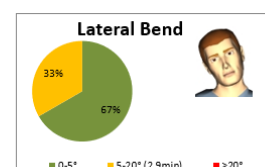
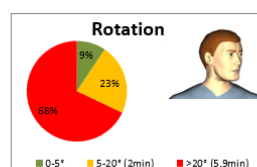
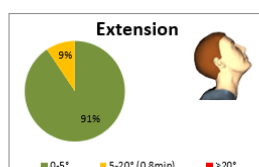
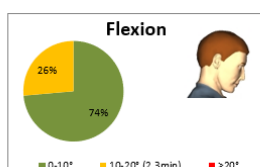
Percent of Work Cycle spent:



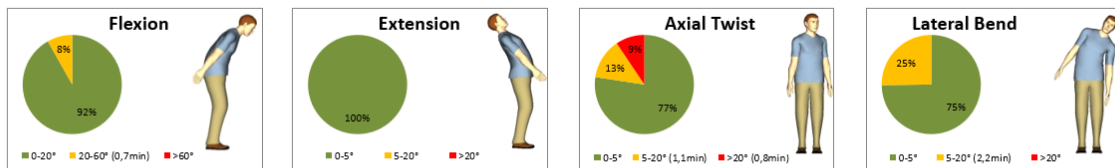
Joint Angle Summary: Time spent per work cycle in each posture range



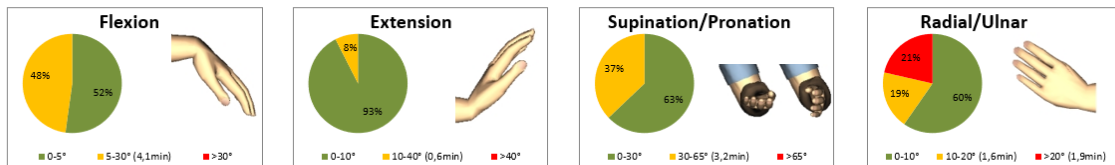
Neck:



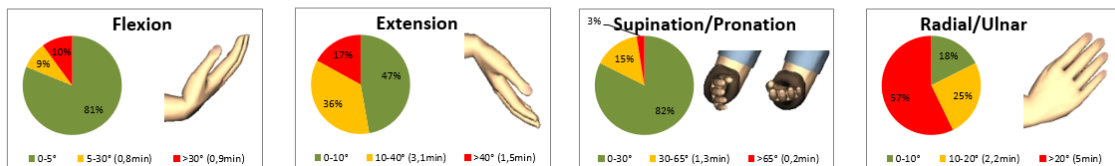
Back:



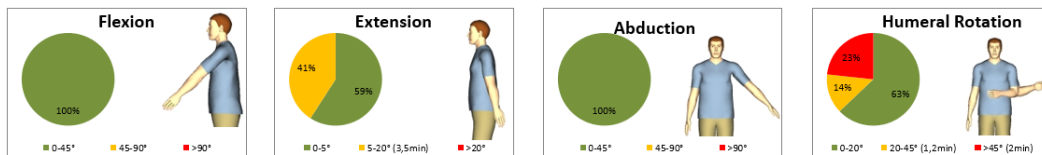
Left Wrist:



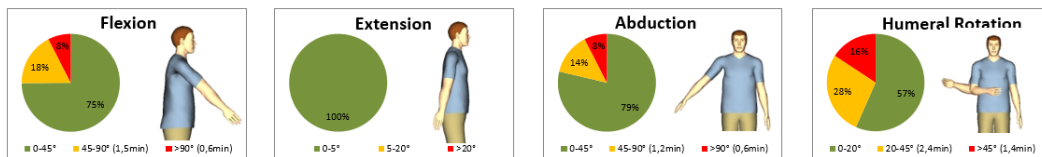
Right Wrist:



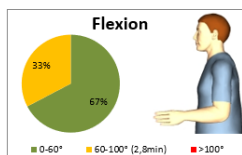
Left Shoulder:



Right Shoulder:



Left Elbow:



Bilaga 1: Ergonomic Metrics i Process Simulate Human.

Bilaga 2: RULA-analys i Process Simulate Human

A. Arm and Wrist Analysis - Right Arm					Score
Step 1: Locate Upper Arm Position					
-20 to 20	less than -20	20 to 45	45 to 90	more than 90	
					
1	2	2	3	4	
UpperArm Angle 74					
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					
60 to 100	more than 100 or less than 60				
					
1	2				
LowerArm Angle 66					
Step 2a: Adjust...					
If arm is working across midline of body or out to side of body +1					
Final Lower Arm Score: 2					

Step 3: Locate Wrist Position				
0	-15 to 15	more than 15	less than -15	
				
1	2	3	3	

Wrist Angle

Step 3a: Adjust...

If wrist is bent away from midline +1

Final Wrist Score:

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

Wrist Twist Angle

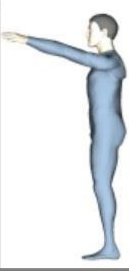
Wrist Twist Score:

Step 5: Locate Posture score from Table A - right:

Step 6: Add Muscle Use Score	
If posture mainly static (i.e. held for more than 1 minute) +1	+
If action repeatedly occurs 4 times per minute or more +1	
Muscle Use Score:	0

Step 7: Add Force Use Score		+
If load less than 2Kg +0 If 2Kg to 10Kg (intermittent) +1 If 2Kg to 10Kg (static or repeated) OR more than 10Kg (intermittent) +2 If more than 10Kg (static or repeated) OR shocks +3		
Carried Weight:	0	
Force Use Score:		0

Step 8: Final Wrist and Arm code:		=
Use to find the row on Table C - right:		5
Final RULA result for Right arm - from Table C:		6

A. Arm and Wrist Analysis - Left Arm					Score
Step 1: Locate Upper Arm Position					
-20 to 20 	less than -20 	20 to 45 	45 to 90 	more than 90 	
1	2	2	3	4	
UpperArm Angle 4					
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:					1

Step 2: Locate Lower Arm Position		
60 to 100 	more than 100 or less than 60 	
1	2	
LowerArm Angle 49		
Step 2a: Adjust...		
If arm is working across midline of body or out to side of body +1		
Final Lower Arm Score:		2

Step 3: Locate Wrist Position				
0	-15 to 15	more than 15	less than -15	
				
1	2	3	3	
Wrist Angle 14				
Step 3a: Adjust...				
If wrist is bent away from midline (ulnar/radial deviation) +1				
Final Wrist Score:				3

Step 4: Wrist Twist	
If wrist is twisted mainly in mid-range 	If twist at or near end of twisting range 
1	2
Wrist Twist Angle -20	
Wrist Twist Score:	
1	

Step 5: Locate Posture score from Table A - left:
3

Step 6: Add Muscle Use Score	+
If posture mainly static (i.e. held for more than 1 minute) +1	
If action repeatedly occurs 4 times per minute or more +1	
Muscle Use Score:	0

Step 7: Add Force Use Score		+
If load less than 2Kg +0 If 2Kg to 10Kg (intermittent) +1 If 2Kg to 10Kg (static or repeated) OR more than 10Kg (intermittent) +2 If more than 10Kg (static or repeated) OR shocks +3		
Carried Weight:	0	
Force Use Score:		0
Step 8: Final Wrist and Arm code:		=
Use to find the row on Table C - left:		3
Final RULA result for Left arm - from Table C:		4

B. Neck, Trunk and Leg Analysis				Score
Step 9: Locate Neck Position				
0 to 10 	10 to 20 	more than 20 	in extension 	
1	2	3	4	
NeckPitch				1
Step 9b: Adjust...				
If neck is twisted +1				
If neck is side bending +1				
Final Neck Score:				1

Step 10: Locate Trunk Position				
-10 to 10 	10 to 20 	20 to 60 	more than 60 or less than -10 	
1	2	3	4	
BodyPitch				23
Step 10b: Adjust...				
Model is seated - trunk well supported: =1				
Model is seated - trunk not well supported: =2				
If trunk is twisted +1				
If trunk is side-bending +1				
Final Trunk Score:				4

Step 11: Legs		
If legs and feet are supported and balanced +1		
If not +2		
Final Legs Score:		1
Step 12: Look up Posture score from Table B:		5
Step 13: Add Muscle Use Score		+
If posture mainly static (i.e. held for more than 1 minute) +1		
If action repeatedly occurs 4 times per minute or more +1		
Muscle Use Score:		0
Step 14: Add Force Use Score		+
If load less than 2Kg +0		
If 2Kg to 10Kg (intermittent) +1		
If 2Kg to 10Kg (static or repeated) OR more than 10Kg (intermittent) +2		
If more than 10Kg (static or repeated) OR shocks +3		
Carried Weight:	0	
Force Use Score:		0
Step 15: Final Neck, Trunk and Leg code:		=
Use to find the column on Table C - right:		5

Bilaga 2: RULA-analys i Process Simulate Human.