



CHALMERS

# Utvärdering av en kollaborativ robots påverkan på ergonomin vid montering av batterikablage i bil

En ergonomisk utvärdering i en virtuell simuleringsmiljö av hur montering av batterikablage i en bil påverkar operatören

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

GUSTAV KRANTZ

HAMPUS ROSDALEN

---

Institutionen för Industri- och Materialvetenskap (IMS)

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sweden 2025

[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)

Examensarbete IMSX20

# Utvärdering av en kollaborativ robots påverkan på ergonomin vid montering av batterikablage i bil

En ergonomisk utvärdering i en virtuell simuleringsmiljö av hur montering av batterikablage i  
en bil påverkar operatören

Gustav Krantz

Hampus Rosdalen

Institutionen för Industri- och Materialvetenskap

CHALMERS TEKNISKA HÖSKOLA

Göteborg, Sverige 2025



**CHALMERS**

# Förord

Detta arbete har utförts som en del av programmet högskoleingenjör inom maskinteknik som genomförts på vårterminen 2025 i SII-labbet i Chalmers på Lindholmen. Vi vill först tacka Anna Syberfeldt, som varit vår examinator och bedömt detta arbete. Ett stort tack till Omkar Salunkhe som har varit handledare för detta projekt. Vi vill även ge ett stort tack till Sven Ekered som bidragit med kunskap om robotar. Vi vill även tacka Peter Mårdberg och Domenico Spensieri på Fraunhofer-Chalmers Centre för hjälp och vägledning i IPS.



# Sammanfattning

Stora delar av fordonsindustrin är automatiserade, men det finns moment som kräver en operatör. Dessa moment kan vara fysiskt krävande och kan leda till en sämre ergonomisk arbetsmiljö för operatören. I detta projekt utvärderas ergonomin vid ett moment där en kabel ska monteras, fokus kommer vara på de fysiska moment som kan innebära en negativ påverkan på ergonomin i monteringsmomentet. På grund av detta, kan det vara användbart att utvärdera hur stor påverkan en kollaborativ robot kan ha på ergonomin om den utför en del av monteringsmomenten. Genom att använda sig av simuleringar uppbyggda i en simuleringsmjukvara så går det att snabbt och effektivt få ut mätdata för de ergonomiska faktorerna hos operatören. I detta projekt skapades en simulering där endast operatören monterar kabeln och en simulering där en kollaborativ robot utför de mest krävande momenten och lämnade det mindre krävande till operatören. Hur stor påverkan den kollaborativa robotens hjälp har på operatörens ergonomi var okänd vid projektets start. I simuleringsmjukvaran fanns inbyggda funktioner som mätte de ergonomiska faktorerna och kunde ge ut tillförlitliga data för utvärdering. För att bättre förstå vad som händer inom området utfördes även en litteraturstudie kring de ergonomiska faktorerna vid en monteringsprocess assisterad av en kollaborativ robot. Resultaten av simuleringarna kan vara användbara för att utveckla en mer ergonomisk monteringsprocess med hjälp av en kollaborativ robot.

## **Abstract**

For an operator to mount a cable, it requires some physical tasks that may have a negative impact on the ergonomics during the assembly procedure. As a cause of this, it is important to evaluate to what extent a collaborative robot can improve ergonomic conditions if it carries out some of the assembly steps. By using simulations developed in simulation software, it is possible to quickly and efficiently obtain measurement data for the ergonomical aspects of the assembly process for the operator. In this project two simulations were made, one simulation was made with only an operator performing the entire cable assembly and the other simulation with a collaborative robot, which did the most physically demanding tasks and left the less demanding tasks to the operator. How big of an impact the collaborative robots help was going to have on ergonomics for operators was unknown at the start of the project. In the simulation software, there were functions built-in to measure the ergonomical factors and give credible data for evaluation. To better understand what is happening in the field, a literature study was conducted regarding the ergonomical factors at an assembly process assisted by a collaborative robot. The results of the simulations can be useful for the development of a more ergonomic assembly process with the help of a collaborative robot.

# Innehållsförteckning

1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte.....	1
1.3 Avgränsningar.....	2
1.4 Precisering av frågeställningen.....	2
2 Teori .....	3
2.1 Kollaborativa robotar .....	3
2.1.1 Krav för kollaborativ robot i detta projekt .....	3
2.1.2 UR5e .....	3
2.1.3 ABB Go CBR 15000.....	4
2.1.5 FANUC CRX-5iA.....	5
2.2 Simuleringsmjukvara .....	5
2.2.1 Industrial Path Solutions .....	6
2.2.2 Visual Components 4.0 .....	7
2.2.3 Siemens SIMATIC WinCC .....	8
2.2.4 Jämförelse av Industrial Path Solutions, Visual Components 4.0 och Siemens SIMATIC WinCC .....	8
2.3 Key Performance Indicator .....	9
2.3.1 Ergonomi.....	10
2.4 Litteraturstudie.....	12
2.4.1 Simuleringsmjukvaran IPS och dess tillämpning i fordonsindustrin.....	12
2.4.2 Ergonomiska faktorer vid tillverkning.....	12
2.4.3 Ergonomiska faktorer vid en cobot-assisterad montering.....	13
2.4.4 Slutsats av litteraturstudien .....	13
3 Metod.....	15
3.2 Val av simuleringsmjukvara .....	15

3.3 Val av mannekäng .....	16
4 Genomförande .....	17
4.1 Fall .....	17
4.1.1 Montering av kablage.....	17
4.2 Lämpliga monteringsmoment för cobot .....	18
4.2.1 Moment 1 – Flytta kablage till arbetselement.....	18
4.2.2 Moment 2 - Montera motorinfästning och mittfäste .....	19
4.2.3 Moment 3 - Koppla kablage till batteri och klämfäste.....	20
4.2.4 Slutsats av lämpliga monteringsmoment för cobot.....	20
4.3 Placering av kollaborativ robot.....	21
4.4 Simuleringsmodell .....	22
5 Resultat.....	24
5.1 Simuleringsmodell med kollaborativ robot och mannekäng .....	24
5.2 Simuleringsmodell med endast mannekäng .....	24
5.3 RULA resultat.....	25
5.3.1 Resultat för operatör och kollaborativ robot .....	25
5.3.2 Resultat för endast operatör .....	25
6. Diskussion .....	27
6.1 RULA-värden .....	27
6.1.1 Manlig och kvinnlig mannekängsimulering .....	27
6.1.2 Kollaborativ robot med manlig och kvinnlig mannekängsimulering .....	28
6.2 Utvärdering av simuleringsmjukvara .....	28
6.3 Utvärdering av kollaborativ robot .....	28
6.4 Vidareutveckling.....	28
7. Slutsats.....	30
Källförteckning.....	31
Bilagor .....	34
Bilaga 1: RULA-resultat för man i enbart operatör-simulering. ....	34

Bilaga 2: RULA-resultat för kvinna i enbart operatörsimulering.....	35
Bilaga 3: RULA-resultat för man i operatör och kollaborativ robotsimulering. ....	36
Bilaga 4: RULA-resultat för kvinna i operatör och kollaborativ robotsimulering. ....	37

# 1 Inledning

I det här kapitlet så kommer bakgrund, syfte, avgränsningar för projektet samt frågeställningen gås igenom.

## 1.1 Bakgrund

Montering- och tillverkningsoperationer kan vara ergonomiskt krävande för operatörerna. För att underlätta monteringsprocessen så går det att använda robotar, eller kollaborativa robotar för att göra delar av processen och avlasta operatören från monotona och ergonomiskt krävande moment [1]. En kollaborativ robot, även känd som cobot, är enligt [2] speciellt anpassad för att jobba sida vid sida med operatören och använder sig av kollisionssensorer för att undvika skador på både operatör och robot. Ergonomi är en viktig aspekt i en monteringsprocess då det ofta finns en del moment som kräver rörelser som belastar operatören negativt. Det är just därför det kan vara mycket användbart att utvärdera hur mycket en cobot kan underlätta belastningen för operatören.

## 1.2 Syfte

Projektets syfte går ut på att utvärdera två olika metoder för att montera ett batterikablage i en personbil. Fokus kommer vara på de ergonomiska skillnaderna som går att tolkas mellan dessa metoder, vilket är det KPI som detta projekt utvärderar. Dessa skillnader blir sedan analyserade och utvärderade för att ta fram vilken metod som är mest optimal.

Projektet genomförs i samarbete med Stena Industry Innovation Lab (SII-LAB). SII-Lab är en nationell testbädd för industriell digitalisering och framtidens jobb. SII-Lab är en öppen miljö med många möjligheter. I SII-Lab pågår forskning, innovation, utbildning, fortbildning och demonstration [3].

Syfte var att utvärdera två olika metoder för att montera batterikablage i personbil. De två metoderna var:

- Kollaborativ robot och operatör
- Endast operatör

Anledningen till att utvärdering av detta problem är av intresse, är för att kunna se vilken metod som blir mest hållbar och ergonomisk. Detta för att se vilken av de olika metoderna som är mest optimal för att användas i stadiet där batterikablage monteras.

### 1.3 Avgränsningar

För att examensarbetet skulle kunna utföras inom projektets tidsram krävs det avgränsningar. Projektet kommer inte att skapa en fysisk modell, utan endast en virtuell. Endast monteringen av kablarna till batteriet kommer att bli utvärderade. Projektet kommer inte att ta hänsyn till montering av skruvförband för kablage. Projektet kommer bara att använda en typ av kollaborativrobot för simuleringarna. Endast en bilmodell kommer att utvärderas i projektet. Projektet kommer inte att använda sig av gripdonsmodeller i simuleringarna. Projektet kommer inte att mäta cykeltid för monteringsmomentet. Tidsplanen för projektet sträcker sig från januari till juni på halvfart vilket motsvarar två månaders arbete på heltid.

### 1.4 Precisering av frågeställningen

Följande frågor kommer att besvaras under projektets gång, och svaren kommer att ligga till grund för resultat och diskussion.

- Vilken simuleringsmjukvara ger de bästa förutsättningarna för att analysera ergonomin vid kablagemontering?
- Kommer enbart operatör, eller operatör och kollaborativrobot, skapa den mer ergonomiska arbetsmiljön för operatören vid montering av batterikablage?

## 2 Teori

I denna del kommer jämförelser av tre kollaborativa robotar att göras och förklaring till projektets Key Performance Indicators (KPI) beskrivas. Samt en litteraturstudie kommer att utföras.

### 2.1 Kollaborativa robotar

Idén med en cobot var att utnyttja samarbetet mellan en robot och en operatör. Coboten kan lära sig flera olika uppgifter och arbetar bredvid operatören för att förenkla processen, samt skapa en mer ergonomisk arbetsmiljö för operatören.

Jämfört med industrirobotar har cobots till exempel kollisions-sensorer för att inte krocka med eller skada operatören [2]. Det finns många olika typer cobots som passar olika bra till olika uppgifter, hur tunga objekt de kan hantera och hur långt de kan sträcka sig är några av de viktigaste specifikationerna att kolla på för det här projektet. Vad det gäller räckvidd på coboten så skiljer sig värdet från cobot till cobot. Beroende på var coboten placeras vid arbetsstationen kan detta värde bli avgörande för om den går att använda vid monteringen.

#### 2.1.1 Krav för kollaborativ robot i detta projekt

Coboten som används för simulering i detta projekt ska kunna bära 2,6 kg, vilket är vikten av kablagen, samt marginal för ett gripdon. Vilket leder till att valet av en cobot med minsta bärkapacitet på 5 kg kommer att väljas. Räckvidden som coboten behöver ha beror på var den placeras vid arbetsstationen vilket betyder att projektet kommer behöva utforska var en fungerande placering för coboten kommer att vara.

#### 2.1.2 UR5e

Universal Robot UR5e (se figur 1) är en cobot som är mycket flexibel i användningsområden. Enligt [4] har UR5e roboten en maximal nyttolast på 5 kg, klarar av att arbeta inom en radie på 850 mm och har en uppställningsyta på 151mm i diameter.



Figur 1. Cobot UR5.

### 2.1.3 ABB Go CBR 15000

ABB Go CBR 15000 (se figur 2) är en cobot som finns i tre olika utföranden som klarar av 5 kg, 10kg respektive 12 kg nyttolast. Eftersom detta projekt inte hanterar objekt tyngre än 5 kg är endast den version av coboten med 5 kg bärkapacitet relevant. Enligt [5] så är radien som denna cobot klarar av att arbeta inom är 1050 mm och den har en uppställningsyta på 165x165mm.



Figur 2. Foto: ABB, Cobot: ABB Go CBR15000 5kg.

### 2.1.5 FANUC CRX-5iA

CRX-5iA är en cobot från tillverkaren Fanuc (se figur 3). Enligt [6] klarar den av en nyttolast på 5 kg och har en arbetsradie på 994mm. Uppställningsytan för coboten är på 148 mm i diameter.



Figur 3. Fanuc Robot CRX-5iA. Copyright: © FANUC Europe

## 2.2 Simuleringsmjukvara

För att bygga upp en miljö där simuleringarna ska utföras så måste modeller av de olika metoderna skapas i en simuleringsmjukvara. För att säkerställa att den mjukvara som kommer att användas är mest optimal för projektet så utförs en sammanställning och jämförelse mellan 3 olika simuleringsmjukvaror. Anledningen till att just dessa tre mjukvaror jämförs är att, erfarenhet inom Visual Components och Industrial Path Solutions finns i projektet och anledningen till att Siemens SIMATIC WinCC valdes var att den hade liknande egenskaper och används inom liknande områden. Utöver detta så är dessa tre simuleringsmjukvarorna några av de största på marknaden, och har även sina egna områden där de är olika specialiserade. Detta kommer att utforskas senare i detta kapitel. Dessutom så stödjer alla tre mjukvarorna användningen av kollaborativa robotar vilket är en viktig del av detta projekt.

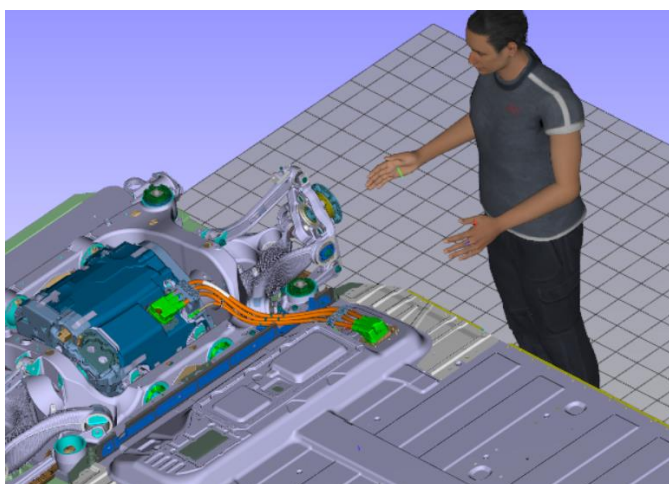
## 2.2.1 Industrial Path Solutions

Industrial Path Solutions (IPS) är en simuleringsmjukvara där det går att skapa realistiska miljöer (se figur 4), samt simulationer av rörelser. Funktioner som robotoptimering, kabelsimulation, samt inbyggda simulerings- och beräkningsprogram kopplat till ergonomi finns tillgängliga i mjukvaran. [7] Mjukvaran är väldigt användarvänlig och det finns mycket hjälp till att förstå alla funktioner i form av videor och text från företagets hemsida.

Robotoptimeringen i IPS är en funktion som automatiskt beräknar och tar fram det mest optimala sättet att använda robotar för det syftet som behöver uppfyllas. Funktionen gör det även möjligt att ta reda på om roboten kan utföra arbetet mer effektivt [8].

IPS har möjligheter för att optimera kabelsimulering [9]. Denna optimering har flera viktiga inbyggda funktioner, som till exempel att kunna se hur mycket kabeln sträcks ut vid montering och om den kolliderar med andra delar av objektet. Detta är användbart för att se om det finns risk att kabeln kommer att fastna eller gå sönder under monteringen.

Det är möjligt att importera mannekängar till simuleringsmiljön för att använda i simuleringarna och det är även möjligt att mäta ergonomiska aspekter för mannekängen. Detta görs genom en funktion som heter IMMA, funktionen tar hänsyn till olika kroppsförutsättningar för att få en så klar bild som möjligt av hur ergonomin påverkas.



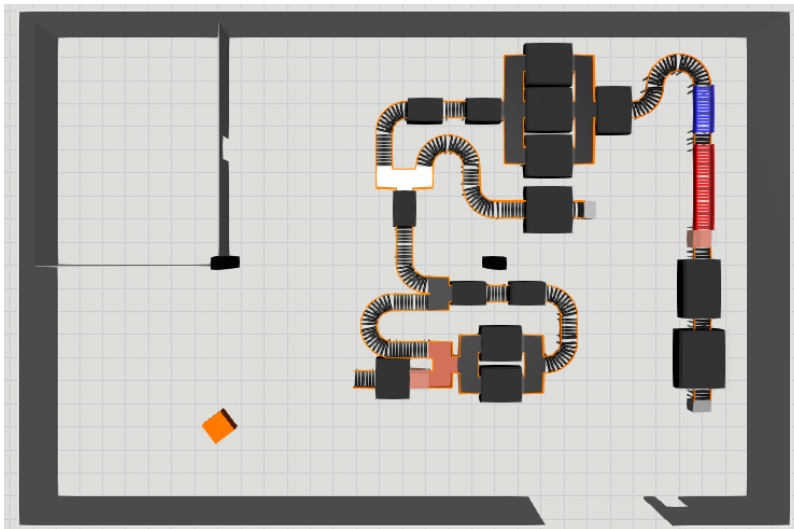
Figur 4. Simuleringsmodell uppbyggd i Industrial Path solutions.

## 2.2.2 Visual Components 4.0

Visual Components är ett program som möjliggör simuleringar och design för tillverkning (se figur 5), mjukvaran är enkel att använda och lättåtkomlig för tillverkningsorganisationer av alla storlekar [10].

Visual Components 4.0 är ett kommersiellt 3D-simuleringsprogram som i huvudsyfte är anpassat för att simulera och visualisera produktionslinjer och fabriksprocesser. Detta gör att programmet har styrkor i flödes och materialsimuleringar. Programmet är utvecklat så att gränssnittet är väldigt användarvänligt, detta gör att arbete med simuleringar blir enklare även för mindre erfarna användare.

Visual Components 4.0 har ett inbyggt bibliotek med fördefinierade komponenter. Vid januari 2025 innehöll programvaran mer än 2000 robotar från mer än 70 robottillverkare [11]. Robotarna i programmet har också inbyggda funktioner som analysering av nåbarhet och kollisioner. Visual Components 4.0 har också stöd för Python scripts, vilket ger möjlighet till att göra helt egna lösningar till komponenter [12]. Dessutom har Visual Components 4.0 en ergonomiutvärderare baserad på RULA metoden [13], detta är ett viktigt tillägg då många företag riktar in sig på att göra arbetsuppgifter mer ergonomiska.



Figur 5. Produktionsmodell uppbyggd i Visual Components.

### 2.2.3 Siemens SIMATIC WinCC

Simuleringsmjukvaran Siemens SIMATIC WinCC används för att visualisera, kontrollera och övervaka processer som är skapade genom mjukvaran (se figur 6). Enligt [14] så fungerar mjukvaran för väldigt stora och omfattande processer, men även små och enkla processer. SIMATIC har en funktion som gör det möjligt att samla mycket data och utvärdera den, för att ge underlag till förändringar av processen för att göra den mer effektiv.



Figur 6. Copyright Siemens AG.

### 2.2.4 Jämförelse av Industrial Path Solutions, Visual Components 4.0 och Siemens SIMATIC WinCC

I detta delkapitel kommer Industrial Path Solutions, Visual Components 4.0 och Siemens SIMATIC WinCC, ställas emot varandra och jämföras. I tabell 1 nedan finns det i punktform, skillnader på de olika programmen i form av vilka funktioner som finns i mjukvarorna. Dessa funktioner som jämförs i tabellen är de som gör störst nytta för att besvara projektets frågeställning. Genom denna tabell så kan slutsatsen dras att IPS kommer att vara mest lämplig för detta projekt. Eftersom IPS redan idag används av företag A som delarna av modellerna, som kommer att användas i projektet kommer ifrån. Dessutom så är projektets KPI ergonomi, vilket inte Siemens SIMATIC WinCC kan utvärdera, men IPS IMMA och Visual Components 4.0 har funktionen att göra det. Utöver detta är detaljer som att det finns lättillgängliga hjälpmedel i IPS en viktig punkt.

Tabell 1. Utvärdering av simuleringsmjukvaror.

Funktioner	Industrial Path Solutions (IPS)	Visual Components 4.0	Siemens SIMATIC WinCC
Möjlighet till ergonomisk utvärdering. Tex RULA	Ja	Ja	Nej
Tillgång till mannekängsimulering	Ja	Ja	Nej
Antropometriskt mannekängsystem	Ja	Nej	Nej
Robotsimulering	Ja	Ja	Ja
Robotoptimering	Ja	Ja	Ja
Tillgång till fördefinierade robotar	Ja	Ja	Nej
Kabelsimulering	Ja	Ja	Nej
Brukas i stora, samt små processer	-	-	Ja
Information tillgängligt för tillvägagångsätt	Ja	Ja	Ja
Brukas av företag A	Ja	-	-

## 2.3 Key Performance Indicator

Key Performance Indicators är nyckeltal som används för att jämföra mellan olika monteringsmetoder, till exempel att jämföra med konkurrenter, att jämföra internt eller i detta

projektets fall, att utvärdera vilken metod som är mest optimal. Enligt [15] är KPI:er viktiga och grundande för beslutsunderlag, till exempel för att KPI-värden kan bidra till att det går fortare att ta viktiga beslut. En annan viktig del är prestationsutveckling, detta KPI kan visa övertid vad utvecklingen är inom den specificerade delen. I detta projekt så kommer KPI att vara ergonomi, detta beskrivs nedanför.

### 2.3.1 Ergonomi

Projektets KPI är ergonomi, som kommer att mätas och utvärderas i projektet. För att utföra detta utvärderas olika metoder av kablagemontering för att se hur montörens ergonomiska förutsättningar kan förbättras. Detta leder till att en del moment utförs av en cobot för att se om det finns möjligheter till att eliminera risker till skador hos montören.

Några av de mest drabbade yrkena när det gäller muskuloskeletala besvär är montörer och operatörer. Enligt studien [16] så uppkommer dessa besvär av ogynnsamma arbetsställningar, repetitiva armrörelser och frekventa kraftgrepp. Dessa i kombination orsakar muskuloskeletala besvär i nacke och axlar, vilket medför smärta i de berörda delarna. Enligt [17] så ligger muskuloskeletala besvär till en stor del av de besvär som en operatör eller montör kan få. De visar också data på att i gruppen med operatörer och montörer så är det 66% som har haft minst ett muskuloskeletalt besvär. Dessa besvär kan leda till sjukanmälningar och sjukskrivningar från jobbet.

#### 2.3.1.1 Intelligently Moving Mannequins (IMMA)

IMMA [18] är en funktion i simulationsmjukvaran IPS som är utvecklad för att skapa möjligheter att utvärdera ergonomin direkt i en simulerad process, samt för att optimera den mänskliga rörelsen och effektivisera en produktionsplanering. Genom att importera mannekänger (se figur 7) direkt in i simuleringen, samt med hjälp av olika mätpunkter (se figur 8) på mannekängen så ger denna funktion möjlighet att mäta hur mycket vridning och vilken vinkel på olika kroppsdelar momentet kräver. Med hjälp av detta går det att se var det finns risker för skador och förslitningar på operatören i processen.



Figur 7. Modell på mannekäng skapad i IPS.



Figur 8. Modell på mätpunkter, skapad i IPS.

### 2.3.1.2 RULA (Rapid Upper Limb Assessment)

Ett sätt att mäta hur ergonomiskt ett moment är kan vara att använda sig av ett ergonomiskt utvärderingsinstrument som heter "RULA", kort för Rapid Upper Limb Assessment. Genom detta instrument [19] kan man mäta hur ergonomiskt ett moment som främst innefattar arbete med överkroppen är. Några kritiska delar som mäts är operatörens hållning under momentet, hur långt ut från kroppen momentet sker, samt kraften som behövs för att genomföra det. Genom RULA kan undersökning av vilka moment som är mer riskabla än andra från ett ergonomiskt perspektiv också utföras. Analysen som fås genom IMMA går att implementera i RULA för att utvärderas ytterligare.

När utvärdering av ergonomin med RULA används, så brukas ett poängsystem, där fler poäng innebär en större risk. Nedan visas tabell 2 som visar rekommendationer på vad som ska göras baserat på de poäng som momentet får.

Tabell 2. RULA poängtabell.

Poäng	Risk
1–2	Acceptabel risk
3–4	Förändringar kan behövas, vidare undersökning rekommenderas
5–6	Förändringar krävs
7	Akuta förändringar krävs

## 2.4 Litteraturstudie

I denna del kommer det utföras en kort litteraturstudie inom “simuleringsmjukvara och deras tillämpning i fordonsindustrin”, ”ergonomiska faktorer vid tillverkning” och “ergonomiska faktorer vid en cobot-assisterad montering”. För att bättre förstå vad som händer i nuläget inom områdena.

### 2.4.1 Simuleringsmjukvaran IPS och dess tillämpning i fordonsindustrin

Simuleringsmjukvaror används inom fordonsindustrin, för att optimera olika processer som till exempel produktion och montering. Studien [20] säger att Industrial Path Solutions (IPS) används ofta för att optimera och simulera, bland annat rörelser där operatör och cobot arbetar tillsammans samt kabelsimuleringar i fordonsindustri. I IPS funktion IMMA, så kan simulering och optimering av ergonomin inom till exempel fordonsmontering göras. Enligt [21] så påpekar Aku Mäkimattila, att det krävs data som är verklig, validerad och kvalitativ för att användas i simuleringsmjukvaror, så att produkten eller resultatet som kommer ut ur simuleringen ska kunna vara användbar.

### 2.4.2 Ergonomiska faktorer vid tillverkning

Inom tillverkningsindustrin så är det vanligt att ha operatörer och montörer som arbetar manuellt speciellt när det är slutmontering av en produkt. Anledningen till detta är att många moment som ingår i slutmonteringen har flera mindre steg. Till exempel inom bilindustri när montering av kablage sker, så blir det väldigt komplext om endast en robot skulle användas. Anledningen att det blir komplext är på grund av att många av kabelkopplingarna ser väldigt lika ut, att de är olika styva och kan röra sig när det ska kopplas samman. Detta leder till att företag väljer att använda sig av mänskliga operatörer för att utföra detta. Enligt [22] i tabell 3,

så är det  $23\% \pm 3\%$ , inom näringsgrenen tillverkning med besvär som uppkommit till följd av olyckshändelser i arbetet och/eller andra förhållanden i arbetet än olyckshändelse.

I [22], så visar de att "Feltramp, lyft eller annan överbelastning" bidrar till drygt 24% av alla orsaker till besvär och andel av sysselsatta med besvär till följd av olyckshändelse i arbetet. Dessutom visar de att "För hög arbetsbelastning" bidrar till cirka 66%, "Påfrestande arbetsställningar eller långvarigt stillasittande" bidrar till cirka 48%. De visar även att "Tung manuell hantering" bidrar till cirka 30% av alla orsaker till besvär och andel av sysselsatta med besvär, till följd av andra förhållanden i arbetet än olyckshändelse.

### 2.4.3 Ergonomiska faktorer vid en cobot-assisterad montering

Ergonomi har och kommer att fortsätta vara en central faktor vid arbetsstationer där både cobot och operatör jobbar tillsammans. Enligt [23] så framkommer det att cobotar blir allt mer vanliga för att ersätta eller avlasta operatörer vid arbetsuppgifter som är repetitiva eller ergonomiskt krävande. Studien av [24] påpekar att den ergonomiska mätningmetoden RULA är ett effektivt verktyg för att utvärdera ergonomin då den analyserar hur olika arbetspositioner kan ge påverkan på muskel-skelettsystemet. Metoden RULA finns inlagt i IPS IMMA för att möjliggöra utvärdering av ergonomi på en statisk arbetsposition eller för en hel arbetssekvens.

### 2.4.4 Slutsats av litteraturstudien

Slutsatsen av denna studie är att simuleringar måste baseras på kvalitativa, verklighetsförankrade och validerade data för att vara representativa. Vilket i detta projekt kommer att innebära, till exempel att höjden där karossen är satt stämmer med de verkliga förhållandena. Om detta inte uppfylls så kommer resultatet inte vara en spegling av verkligheten, vilket gör att den inte kommer att kunna vara representativ i jämförelser. RULA som ett ergonomiskt mätverktyg blir optimalt för detta projekt, eftersom arbetsmomentet till stor del av enbart kräver arbete med överkroppen. Utöver detta så visar studien att det finns mycket anledning till att förbättra de ergonomiska förutsättningarna för montörer och operatörer. Detta är viktigt dels från ett hälso- och välmåendeperspektiv så montören inte får skador och problem som är permanenta, samt dels från ett ekonomiskt perspektiv eftersom det kostar pengar för företag när arbetare behöver sjukanmäla eller sjukskriva sig från sitt arbete.



## 3 Metod

I denna del så kommer valen av cobot, simuleringsmjukvara och mannekäng att beskrivas.

### 3.1 Val av kollaborativ robot

I projektet så kommer coboten UR5e att användas, då den uppfyller de önskemål som finns. Dessutom så finns det ytterligare faktorer som, till exempel att det finns tillgång till en UR5e cobot i IPS, där alla axlar, mått och rörelsevillkor finns definierade. Utöver detta så är det en av det mer lättillgängliga cobotarna på marknaden.

### 3.2 Val av simuleringsmjukvara

Målet var att använda en simuleringsmjukvara som passar uppgiften så optimalt som möjligt. För att göra detta utvärderades olika funktioner, fördelar och nackdelar i tre olika simuleringsmjukvaror. De tre simuleringsmjukvaror som utvärderades var:

- Industrial Path Solutions
- Visual Components 4.0
- Siemens SIMATIC WinCC

Jämförelser och beskrivningar av de olika mjukvarorna hittas i del 2.2.4 av rapporten. Där går det se att IPS är den simuleringsmjukvaran med flest positiva aspekter för projektet. Eftersom modellerna som används till simuleringarna tillhandahålls av företag A så väger just det faktumet att företag A själva använder sig av IPS tungt. En stor fördel med både IPS och Visual Components är att det finns inbyggda funktioner för att beräkna ergonomi. Siemens SIMATIC WinCC saknar funktionen att beräkna ergonomi och är mer anpassat för att övervaka och kontrollera produktionslinjer i fabriksmiljö, vilket inte ligger i linje med detta projekt. Eftersom en stor del av projektet kommer att handla om hur kablarna kommer att monteras till batteriet så är kabelsimulation en användbar funktion, vilket finns i IPS, men saknas i Visual Components. Slutsatsen av dessa utvärderingar är att IPS är det mest optimala val av simuleringsmjukvara och därmed kommer att användas i detta projekt.

### 3.3 Val av mannekäng

I IPS IMMA så finns det ett antropometriskt system som gör det möjligt att mäta en arbetsprocess ergonomiska påverkan på en person. Systemet ger också möjlighet till att mäta flera olika fysiska kroppskillnader och möjlighet till att testa för både man och kvinna.

För simuleringarna i projektet kommer två mannekängar att användas. Den ena är en man som väger 78 kg och är 1,79 m lång (se figur 9). Den andra är en kvinna som väger 65 kg och är 1,67 m lång (se figur 10). Anledningen till att två olika mannekängar används är att få en lite bredare syn på hur arbetsuppgiftens ergonomi ändras, beroende på operatörens kroppsbyggnad.



Figur 9. Mannekäng man, skapad i IPS.



Figur 10. Mannekäng kvinna, skapad i IPS

## 4 Genomförande

För att kunna få fram de resultat som projektet ville ha svar på krävdes det information om hur monteringen såg ut i nuläget, för att ta reda på vilka monteringsmoment som var mest optimala att använda en cobot i. Dessutom behövdes den virtuella miljön skapas som blev grunden till de olika metoderna och den miljön de utspelade sig i.

### 4.1 Fall

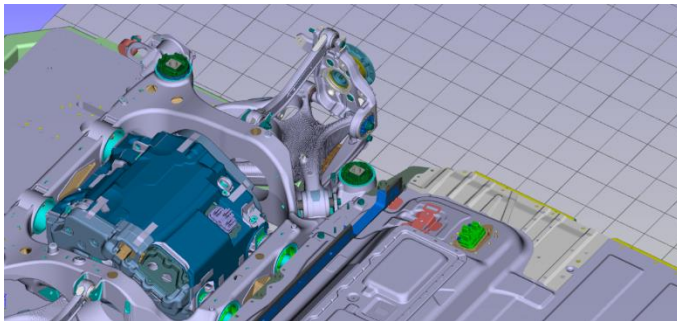
Fallet som studerades var en monteringsprocess av ett batterikablage i en bil, utförd vid ett större svenskt fordonstillverkande företag med global verksamhet. Företaget utvecklar och tillverkar personbilar och har stora produktionsanläggningar i Sverige och internationellt. Monteringen utvärderades utifrån två olika metoder. I det första var det enbart en operatör som utförde hela monteringssekvensen. I den andra metoden så användes en cobot och en operatör som arbetade tillsammans under monteringssekvensen. I båda metoderna så mättes ergonomin med hjälp av mätverktyget RULA. Detta utfördes så att en utvärdering och analys av de två metoderna kunde utföras.

#### 4.1.1 Montering av kablage

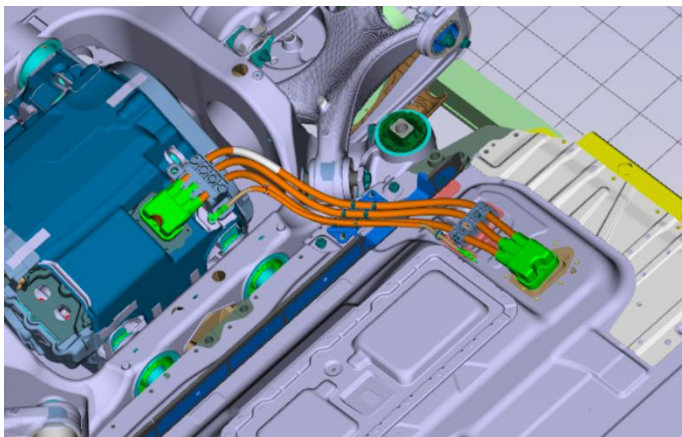
Montering av batterikablaget sker genom att först förflytta kablage från den inkommande positionen till arbetelementet. Därefter ska alla fästen kopplas fast, två batterikopplingar, varav en ska kopplas in i batteriet och den andra ska kopplas in i motorn. Kablaget har tre fästpunkter utöver batterikopplingarna som sitter fördelat över dess längd. Två av dessa, den vid motorinfästningen och den i mitten fästs med skruv och den sista som är placerad vid batteriinfästningen fäst med ett clipsfäste. Kablaget med fästena visas i figur 11. I figur 12, så visas alla infästningspunkter för kablaget, där motorinfästningen är till vänster på figuren och batteriinfästningen är till höger. I figur 13 syns den slutgiltiga positionen för kablage efter montering.



Figur 11. Modell för batterikablage, vänstra fästet är motorfästet och högra är batterifästet, skapad i IPS.



Figur 12. Modell för bilkaross, med alla fästpunkter, skapad i IPS.



Figur 13. Modell för kablage monterad på kaross, skapad i IPS.

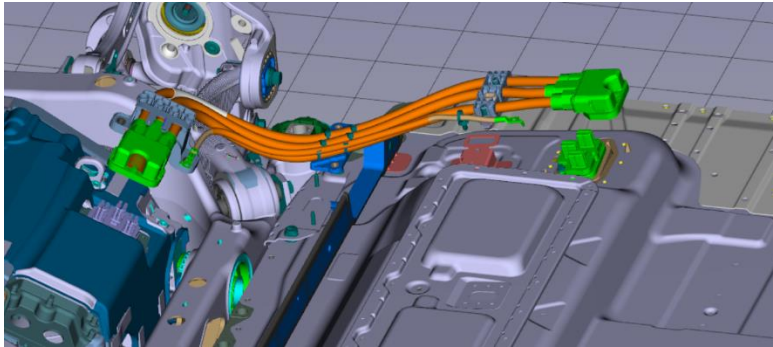
## 4.2 Lämpliga monteringsmoment för cobot

I denna del så kommer monteringen av batterikablaget delas upp i olika steg, detta för att diskutera och analysera vilka av momenten som kan vara lämpliga att använda en cobot för, och vilka det inte är nödvändigt för. Detta för att ge en idé kring hur simuleringen ska byggas upp och var coboten ska placeras.

### 4.2.1 Moment 1 – Flytta kablage till arbetselement

I moment 1 i kablagemonteringen så flyttades kablaget från den inkommande positionen, till sin position på bilkarossen utan att vara inkopplad (se figur 14). I detta arbetsmoment var det

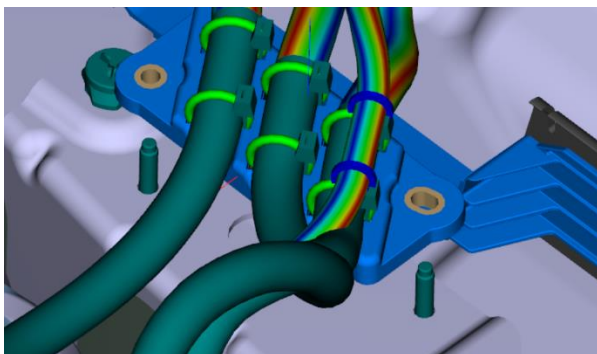
lämpligt att använda en cobot, då det var ett relativt krävande steg för en operatör utifrån ett ergonomiskt perspektiv med avseende på operatörers hållning och vikt av kablaget. Utöver detta så var momentet mycket repetitivt och ett moment som inte kräver någon större grad av precision, vilket också gjorde det lämpligt för en cobot att utföra.



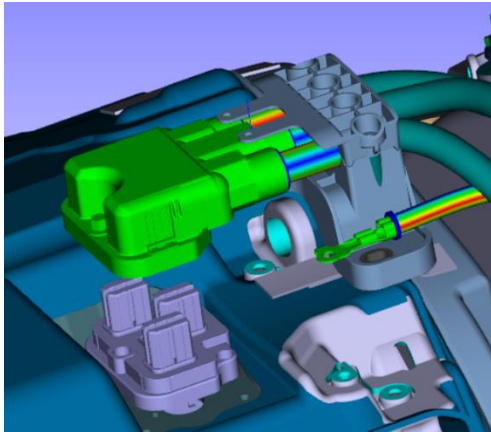
Figur 14. Modell för kablgets position innan montering av fästen påbörjats, skapad i IPS.

#### 4.2.2 Moment 2 - Montera motorinfästning och mittfäste

I moment 2 så lyftes kablagekontakten från sin slutposition i moment 1 och sattes fast i kablageinfästningen i motorn (se figur 15). Under detta moment så monterades också kablaget fast i mittfästet (se figur 16), vilket såg till att kablaget låg i rätt position. I detta steg hade det varit lönsamt om en cobot kunde utföra momentet, eftersom arbetspositionen som en operatör hade jobbat i, inte blivit optimalt från ett ergonomiskt perspektiv. Detta eftersom positionen var långt ifrån kroppen, vilket bidrog till höga belastningar.



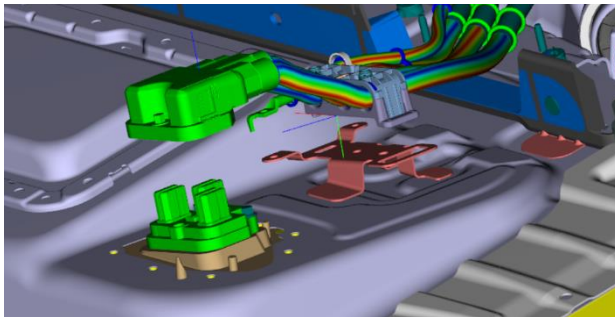
Figur 15. Närbild på mittfäste, skapad i IPS.



Figur 16. Närbild på motorfäste, skapad i IPS.

#### 4.2.3 Moment 3 - Koppla kablage till batteri och klämfäste

I moment 3 så lyftes kablaget från sin slutposition i moment 1, och sedan fästes i kablageinfästningen på batterisidan. Kablaget fästes därefter i ett klämfäste cirka två decimeter ifrån infästningen i batteriet. Båda fästen visas i figur 17 nedanför. Denna sekvens av uppgiften var mer optimal för en operatör då själva monteringen av klämfästet krävde mer precision. Dessutom var arbetspositionen för detta steg inom ett mindre fysiskt krävande område utifrån det ergonomiska faktorerna.



Figur 17. Närbild på batterifäste och klämfäste, skapad i IPS.

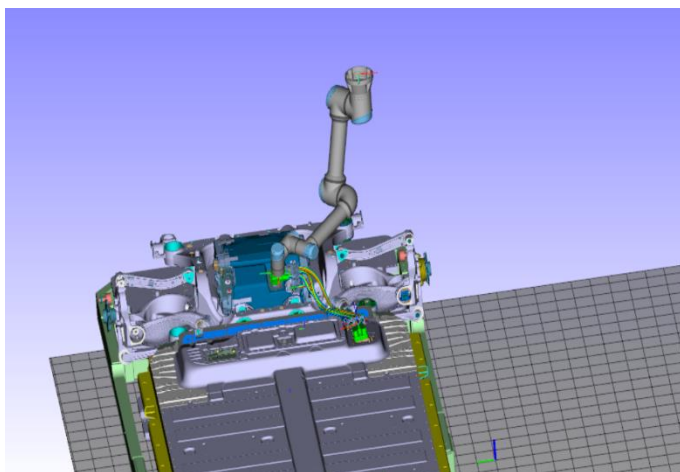
#### 4.2.4 Slutsats av lämpliga monteringsmoment för cobot

Utifrån denna analys av de olika monteringsmoment, så skapades ett scenario som kommer att simuleras. Detta scenario är då coboten plockar upp den inkommande kabeln och sedan flyttar den till arbetelementet. Därefter så monterar operatören fast kablageinfästningen till batteriet och klämfästet bredvid. Under tiden som operatören arbetar så kommer den kollaborativa

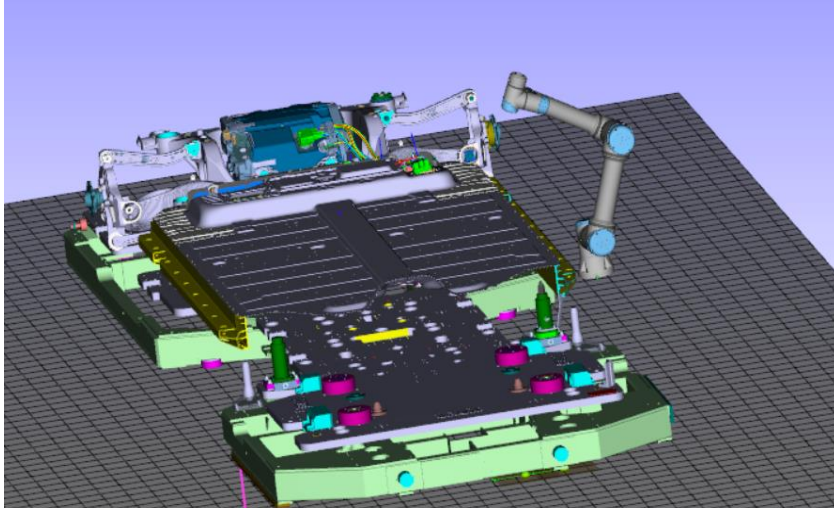
coboten att montera mittfästet och motorinfästningen. Anledningen till att detta scenario valdes var att de moment coboten utför var de som utvärderats till det mest ergonomiskt krävande för operatören.

### 4.3 Placering av kollaborativ robot

Den kollaborativa roboten kommer att vara monterad i taket (se figur 18) på ett sådant sätt att den når kablagerets inkommande position samt slutpositionen. Anledningen bakom detta val var, för det första om coboten hade varit monterad bredvid karossen (se figur 19) så hade coboten varit fullt utsträckt för att nå kablagerets motorinfästning. Detta bör undvikas för att säkerställa tillräcklig marginal i cobotens räckvidd vilket kan minska onödigt slitage på coboten. Det skapar även en mer effektiv rörelsebana för coboten, eftersom de geometrier och delar som redan satt på karossen hindrade roboten från att ta den kortaste vägen då den var monterad bredvid karossen. En ytterligare fördel med takmontering av coboten är att den frigör mer arbetsutrymme för operatören och när coboten var klar med sitt arbete så kan den lägga sig längs taket och vara helt utanför operatörens arbetsområde. Utöver detta så underlättar placeringen i taket operatörens ergonomi, eftersom coboten kan lyfta kabeln från inkommande positionen till den slutgiltiga positionen och montera motorfästet, vilket var ett av de mer ergonomiskt krävande momenten.



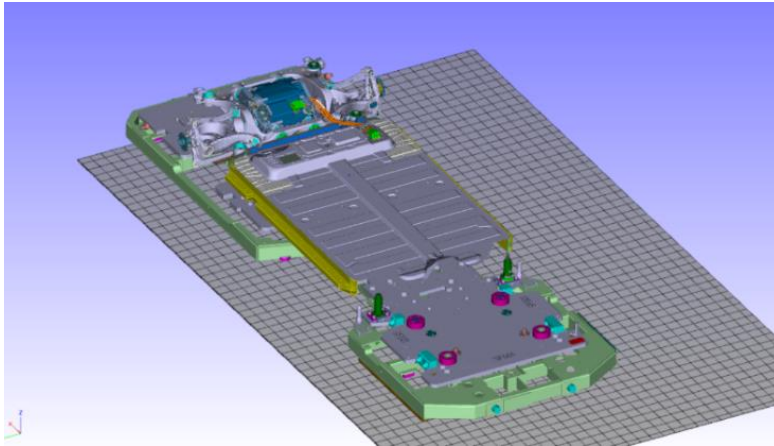
Figur 18. Modell för takmonterad cobot, skapad i IPS.



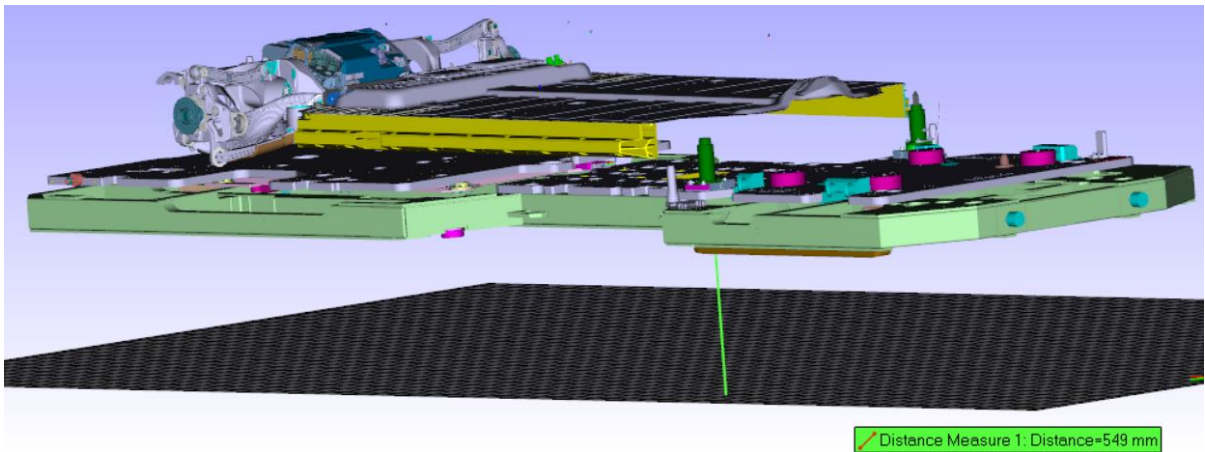
Figur 19. Modell för cobot monterad bredvid kaross, skapad i IPS.

#### 4.4 Simuleringsmodell

För att skapa simuleringarna krävs CAD-modeller av den miljö där monteringen sker. Delar av miljön tillhandahålls från företag A och IPS. För att utvärderingen av de olika metoderna ska bli så verklighetstrogna som möjligt, skapas det först en basmiljö som sen kommer se likadan ut för de olika scenarierna. I den första kommer en cobot och en mannekäng implementeras och i den andra metoden endast en mannekäng. Basmodellen för simuleringen kommer att innefatta en transportplatta, arbetselementet som i detta fall är nedre delen av bilkarossen som innefattar underrede, batteri, batterihus och motor, (se figur 20). För att säkerställa att det är samma förutsättningar under alla simuleringar, så används samma basmiljö, med samma avstånd från golvet upp till transportplattan (se figur 21). Detta avstånd är även det givet från företag A till 549 mm.



Figur 20. Basmodell, skapad i IPS.



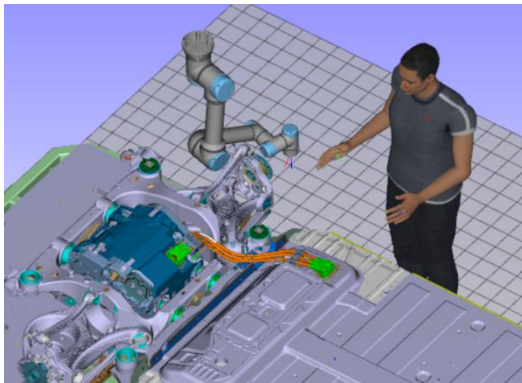
Figur 21. Basmodell, avstånd till transportplattan. Skapad i IPS.

## 5 Resultat

I detta kapitel kommer resultaten av RULA-värden för de olika metoderna, uppbyggnaden av simuleringsmodellerna samt kablagemonterings-sekvensen att presenteras. Simuleringsmodellerna innefattar en simuleringsmodell med cobot och mannekäng, samt en modell för endast en mannekäng.

### 5.1 Simuleringsmodell med kollaborativ robot och mannekäng

Simuleringsmodellen kan ses i figur 22. Denna har basmodellen i grunden, samt tillägget av en mannekäng och en cobot. I detta fall så kommer coboten att transportera kablaget från inkommande position till bilkarossen. Därefter kommer coboten att montera fast det högra mellanfästet för att sedan fästa kopplingen i motorn. Efter detta fäster mannekängen den andra änden i batterinfästning samt det vänstra mellanfästet. Dessa rörelser är skapade genom att skapa punkter för coboten att röra sig till samt genom att koppla fast och koppla bort de olika fästena från coboten. Dessa punkter och kommandon skapas genom att programmera ett skript till coboten, där punkterna anges genom hur mycket rotation i robotens leder som ska ske. Mannekängens rörelser sker genom grepppunkter på kabelns kopplingar tillsammans med en skapad rörelsebana för kopplingarna där mannekängen rör sig med rörelsebanan.

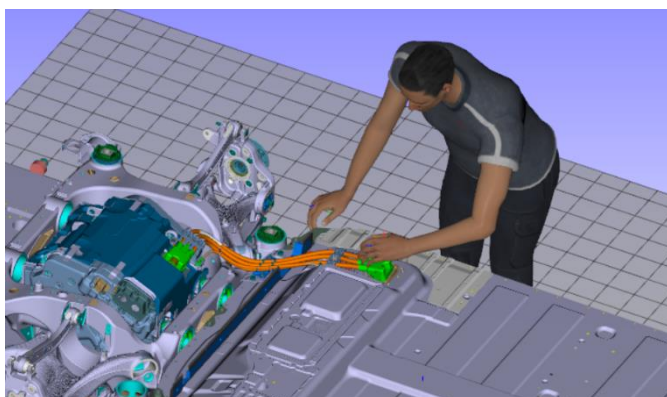


Figur 22. Modell för simulering av operatör och cobot, skapad i IPS.

### 5.2 Simuleringsmodell med endast mannekäng

Modellen för enbart operatör kan ses i figur 23. Där är det basmodellen, samt tillägg av en mannekäng. Här kommer mannekängen att plocka upp inkommande kablage, flytta den till bilkarossen och placera den. Därefter kommer mannekängen att sätta fast kablgets fästpunkter

i karossen. Rörelsebanan för mannekängen är uppbyggd på samma sätt som för simuleringen med coboten, bara att fler grepppunkter och rörelsebanor skapats.



Figur 23. Modell av mannekängsimulering skapad i program IPS.

## 5.3 RULA resultat

I detta delkapitel kommer resultaten från simuleringarna presenteras, med fokus på RULA som är det ergonomiska mätverktyg som använts och som även finns inbyggt i mjukvarans IMMA-funktion.

### 5.3.1 Resultat för operatör och kollaborativ robot

Det resulterande RULA-värden som tagit ut ur IPS i simuleringen för operatör och cobot är för den manliga mannekängen 4 i grupp A, som innefattar arm och handledsanalys och värdet 1 i grupp B som innefattar nacke-, bål och benanalys. Detta resulterade i det slutgiltiga RULA-värdet 3 (se bilaga 3). Den kvinnliga mannekängen fick 4 i grupp A och 1 i grupp B, vilket även resulterade i ett slutgiltigt RULA-värde på 3 (se bilaga 4).

### 5.3.2 Resultat för endast operatör

Simuleringsresultatet som tagit ut ur IPS med hjälp av IMMA och den inbyggda funktionen för utvärdering av RULA på en operation. Denna utvärdering för den manliga mannekängen, gav det slutgiltiga RULA-värdet på 4 för grupp A och 1 för grupp B, samt 1 poäng till för vikten av att bära kabeln. Detta resulterade i att hela monterings RULA-värde blev 4 (se bilaga 1). Resultatet för den kvinnliga mannekängen blev 6 i grupp A och 3 i grupp B, samt ett ytterligare

poäng för kraften som krävs för att bära kabeln, vilket ger 6 i slutgiltigt RULA-värde (se bilaga 2).

## 6. Diskussion

I detta kapitel kommer diskussion kring resultat, egna tankar, hypoteser och annan information som är värd att nämna.

### 6.1 RULA-värden

I detta delkapitel kommer RULA-värdena som tagits ut ur att diskuteras och utvärderas. Tankar kring varför resultaten blev som det blev och vad som skiljer de olika simuleringarna åt. Samt varför ett simuleringsalternativ kan vara bättre än ett annat och hur operatörens längd kan ha en stor påverkan på ergonomin.

#### 6.1.1 Manlig och kvinnlig mannekängsimulering

De skillnader som uppkommer i RULA-värdena mellan den manliga och den kvinnliga mannekängen som visas i bilaga 1 & 2, bygger till största del på att den kvinnliga mannekängen är kortare än den manliga. Detta innebär att hennes arbetsposition vid momentet då kabeln placeras på arbetelementet är ergonomiskt belastande. Då hennes armar är över 45 grader utifrån kroppen, samt att hon behöver luta sig framåt över 20 grader för att nå infästningen som sitter vid motorn. Detta leder till att den kvinnliga mannekängen får 6 i RULA-värde jämfört med den manliga mannekängen som får 4 i RULA-värde. Dessa värden kan sättas in i tabell 2, då går det att konstatera att för den kvinnliga mannekängen så krävs det förbättring och för manliga mannekängen så kan förändringar behövas, men att vidare undersökning rekommenderas.

Med detta går det att konstatera att längd är en väldigt viktig faktor för detta monteringsmoment. Dels för att om individen som monterar inte är tillräckligt lång, så kommer den inte nå och då kommer monteringen inte vara möjlig. Men också att om operatören som monterar precis når, som den kvinnliga mannekängen i simuleringarna. Så kommer den behöva sträcka sig och arbeta på ett sätt som inte är bra ergonomiskt, vilket i sin tur kan leda till temporära eller permanenta skador.

### 6.1.2 Kollaborativ robot med manlig och kvinnlig mannekängsimulering

I simuleringen med den kollaborativa roboten tillsammans med den manliga respektive kvinnliga mannekängen så blev resultaten relativt lika varandra. Man kan se att den kvinnliga mannekängen får aningen högre RULA-värden på hur mycket armen behöver böjas, vilket beror på att den kvinnliga mannekängen är kortare. Eftersom höjden av arbetsstationen är densamma för de olika mannekängerna behöver den kvinnliga mannekängen höja sina armar mer än den manliga och det medför ett högre RULA-värde. Det slutgiltiga RULA-värdet bestäms till 3 för båda simuleringarna vilket enligt tabell 2 innebär att förändringar kan behövas, men att vidare undersökning rekommenderas.

## 6.2 Utvärdering av simuleringsmjukvara

Simuleringsmjukvaran som använts för att skapa och simulera de metoder som projektet utvärderar var som tidigare nämnt Industrial Path Solutions. Efter att alla simuleringar var gjorda så kan slutsatsen tas, att IPS fungerar för att besvara detta projekts frågeställning. Däremot om en annan frågeställning ställts eller andra KPI:er som till exempel cykeltid valts att utvärderas, så kan det vara lönt att utforska andra mjukvaror. Detta för att hitta någon simuleringsmjukvara som kan uppfylla de kraven.

## 6.3 Utvärdering av kollaborativ robot

Coboten som använts i de olika simuleringarna blev som tidigare nämnts UR5e. Efter att skapat simuleringar där denna cobot ska utföra vissa moment i kablagermonteringen, så kan slutsatsen tas att coboten uppfyllde de krav projektet haft. Ifall placeringen av cobot hade varit bestämd sedan innan vid monteringen så kan det vara nödvändigt att använda en cobot med längre räckvidd.

## 6.4 Vidareutveckling

För att utvärdera detta resultat ännu mer noggrant finns det aspekter som kan behöva utforskas och diskuteras för att resultatet ska bli ännu mer verklighetstroget. Information om vilken längd

på operatören som utför momentet som skulle vara ett minimumkrav för att undvika skador långsiktigt skulle vara ett lämpligt område att utforska.

En sak man måste tänka på är att simuleringarna inte exakt återspeglar verkligheten, på grund av att olika människor kommer att röra sig på olika sätt för att till exempel greppa eller sträcka sig efter något. Detta är något som det ergonomiska mätverktyget som använts inte kan ta hänsyn till, utan det kan endast få ut resultatet med avseende på ett specifikt grepp eller rörelsemönster. Ett förslag på att utveckla simuleringen vidare hade varit att sätta upp en fysisk miljö och låta olika människor göra monteringsprocessen för att sedan försöka återspegla de olika rörelsemönstren man observerar i en ny simulering.

En möjlig vidareutveckling hade varit att analysera processens cykeltid, med anledning av att RULA-värdet man får ut baseras delvis på hur länge mannekängen står i obekväma ställningar, en mer exakt tid vid varje del av processen hade därför gett ett mer exakt RULA-resultat.

Ett till alternativ för vidareutveckling är att utforska användningen av en industrirobot i stället för en cobot. Detta kan vara ett bra alternativ eftersom operatören inte behövs i arbetsmomenten i sådant fall. Detta leder till att det inte finns någon ergonomi att utvärdera. En industrirobot kan vara ett alternativ om cykeltid i sig är ett väldigt viktigt. Eftersom industriroboten kan jobba mycket snabbare än vad operatören och den kollaborativa roboten kan. Men industrirobotar kommer med mycket nya problem, såsom plats, kostnad, säkerhet och underhållspersonal. Vilket i sin tur kräver vidareutveckling för att se om det är ett intressant alternativ.

## 7. Slutsats

Projektets syfte att utvärdera ergonomin vid en monteringsprocess av ett batterikablage i en bil har med hjälp av simuleringar blivit uppfyllt. Fokuset har varit på att utvärdera skillnaderna i ergonomin med två olika metoder för att montera kablaget. För att summera resultaten av simuleringarna så visar de tydligt på att ergonomin för operatören förbättras av att den kollaborativa roboten utför de momenten som operatören kan ta skada av att göra över tid. I simuleringarna så tar den coboten kabelns vikt och bär över till arbetsstationen, samt placerar de fästen som är mer svåråtkomliga för mannekängen. Detta innebär att RULA-värdena för simuleringarna där den coboten är med blir lägre. Både för den manliga och den kvinnliga mannekängen.

Det går också att tolka resultatet som att arbetsmomentet i sig blir mer anpassat för fler människor när det innefattar en cobot. Detta med tanke på att längden på mannekängen har en stor inverkan på RULA-värdet och om den coboten kan göra det moment där längden på operatören spelar roll, så skapas möjlighet till att operatörer i ett stort spann av längder kan arbeta på denna station.

För den manliga mannekängen går det även att se att RULA-värdet endast blir 1 poäng högre i simuleringen utan cobot, och detta är på grund av kraften som krävs av mannekängen för att bära kabeln till stationen. Detta till skillnad från den kvinnliga mannekängen som får ett RULA-värde på 6 utan coboten jämfört med 3 då den arbetar tillsammans med roboten. Likadant som för den manliga mannekängen så är ett av poängen på RULA-värdet på grund av kraften som krävs för att bära kabeln. Resterande del av ökningen av värdet kan man se att det kommer från vilken lutning mannekängens överkropp får samt hur mycket mannekängen behöver vinkla ut armarna från kroppen. Även detta tyder på att längden för mannekängen påverkar ergonomin i arbetsmomentet mycket.

# Källförteckning

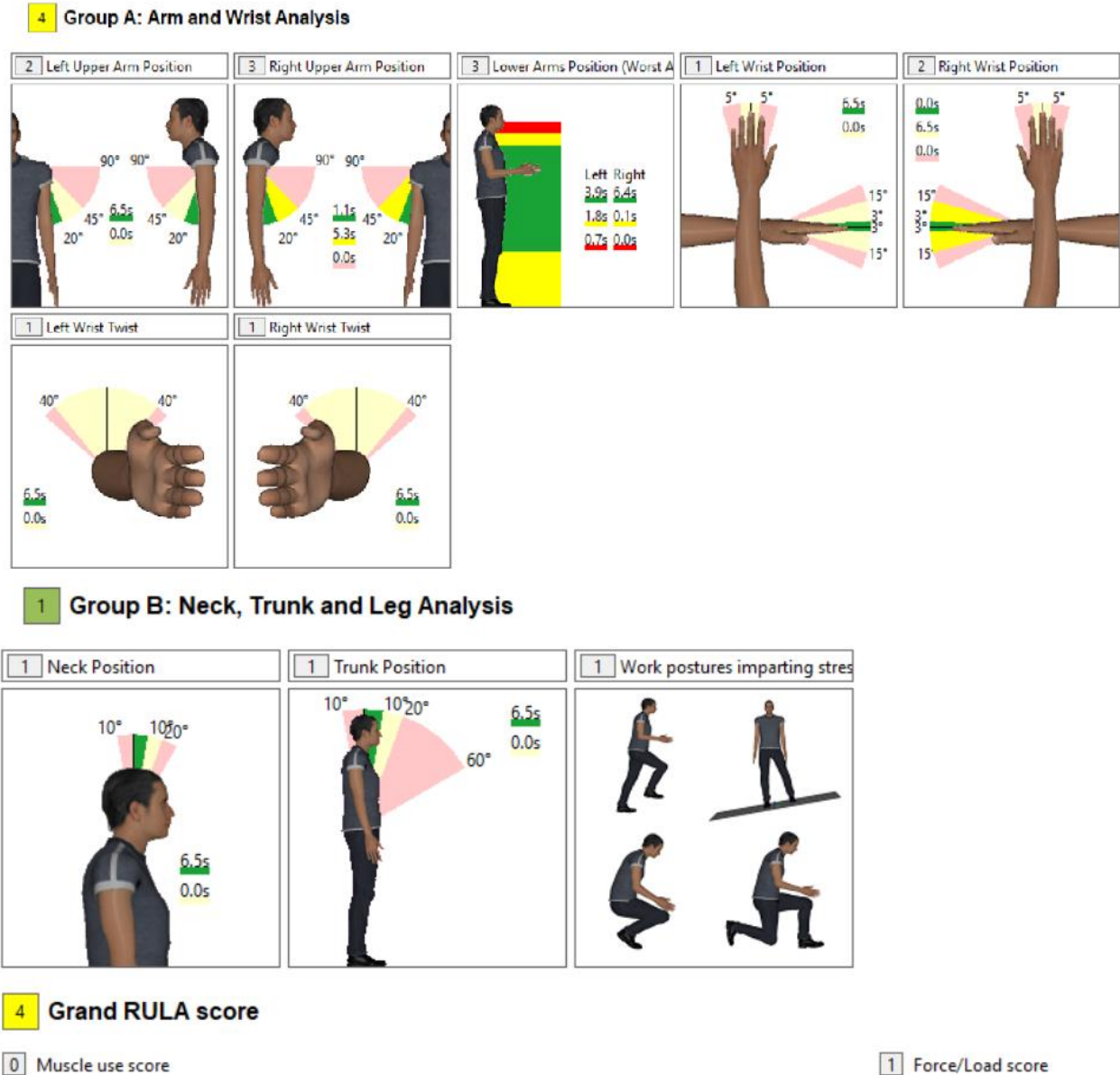
- [1] Hartono, M., Firmanto, H., Susilawati, C. (2023). *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Informatics, Technology and Engineering 2023*. Atlantis Highlights in Engineering, 21, <https://doi.org/10.2991/978-94-6463-288-0>.
- [2] Mehmanparast, A., Battini, D., Battaia, O. et al. (2024). *Collaborative robots in manufacturing and assembly systems: literature review and future research agenda*. J Intell Manuf 35, 2065–2118, <https://doi.org/10.1007/s10845-023-02137-w>
- [3] Stena Industry Innovation Lab. (2025, 29 januari). SII-Lab – möjligheter för industrin och samhället. [SII-LAB – Stena Industry Innovation Lab](#)
- [4] Universal Robots. (2025, 5 februari). UR5e. <https://www.universal-robots.com/se/produkter/ur5-robot/>
- [5] ABB. (2025, 5 februari). GoFa™ CRB 15000. <https://new.abb.com/products/robotics/robots/collaborative-robots/crb-15000>
- [6] FANUC. (2025, 5 februari). CRX-5iA <https://crx.fanucamerica.com/crx-5ia>
- [7] Industrial Path Solutions. (2025, 29 januari). *Realize the potential of the virtual world*. [IPS | Industrial Path Solutions | Industrial Path Solutions](#)
- [8] Industrial Path Solutions. (2025, 29 januari). *IPS Robot Optimization*. [IPS Robot Optimization | Industrial Path Solutions](#)
- [9] Industrial Path Solutions. (2025, 29 januari). *IPS Cable Simulation*. [IPS Cable Simulation | Industrial Path Solutions](#)
- [10] Visual Components. (2025, 29 januari). *About us*. [About us - Visual Components](#)
- [11] Visual Components. (2025, 29 januari). *Visual Components eCatalog*. [eCatalog - Visual Components](#)
- [12] Visual Components. (2025, 29 januari). *Basics of Python Scripting*. [Basics of Python Scripting | Visual Components Academy](#)
- [13] Visual Components. (2025, 29 januari). *Ergonomics with Visual Components 4.9 and RULA*. [Ergonomics with Visual Components 4.9 and RULA](#)

- [14] Siemens. (2025, 29 januari). *SIMATIC WinCC V8*. [SIMATIC WinCC V8 - Siemens Global](#)
- [15] Brilliantfuture. (2025, 14 april). *KPI (Key Performance Indicator)*. [KPI - Vad är KPIer och varför är de viktiga? | Brilliant Future](#)
- [16] Boström, M., Oliv, S., & Gustafsson, E. (2013). *Belastningsergonomisk exponering hos montörer och maskinoperatörer*. (Arbets – och miljömedicin, nr. 147). Arbets- och miljömedicin, Sahlgrenska Universitetssjukhuset. <https://www.amm.se/wp-content/uploads/2016/12/2013-Nr.-147.pdf>
- [17] de Kok, J., Vroonhof, P., Snijders, J., Roullis, G., Clarke, M., Peereboom, K., van Dorst, P., & Isusi, I. (2019). *Work-related MSDs: prevalence, cost and demographics in the EU*. EU-OSHA. [Work-related MSDs: prevalence, costs and demographics in the EU](#)
- [18] Industrial Path Solutions. (2025, 10 februari). *IPS IMMA*. [IMMA - Fraunhofer-Chalmers Centre](#)
- [19] Middlesworth, M. (XXXX). *A Step-by-Step Guide Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*. Ergo plus. <https://ergo-plus.com/wp-content/uploads/RULA-A-Step-by-Step-Guide1.pdf>
- [20] Hanson, L., Högberg, D., Carlson, S. J., Delfs, N., Brodin, E., Mårdberg, P., Spensieri, D., Björkenstam, S., Nyström, J., & Ore, F. (2019) Chapter 11 - Industrial Path Solutions – Intelligently Moving Manikins. *Academic Press*. Pages 115-124. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816713-7.00011-8>
- [21] Mäkimattila, A. (2021). *Lyckad produktionssimulering kräver högklassiga data*. Pinja Blog. <https://blog.pinja.com/sv/lyckad-produktionssimulering-kraver-hogklassiga-data>
- [22] Ponton Klevestedt, A. (2023). *Arbetsorsakade besvär 2022*. (AM0502). Arbetsmiljöverket. [Arbetsorsakade besvär 2022](#)
- [23] Borges, G. D. (2022). *Collaborative robotics for improving workplace ergonomics: A case study in the automotive industry*. Available from ProQuest Dissertations & Theses Global: The Sciences and Engineering Collection. <http://proxy.lib.chalmers.se/login?url=https://www.proquest.com/dissertations-theses/collaborative-robotics-improving-workplace/docview/2917520974/se-2>

[24] McAtamney, L., Nigel Corlett, E. (1993). RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*. 24(2), 91-99. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(93\)90080-S](https://doi.org/10.1016/0003-6870(93)90080-S)

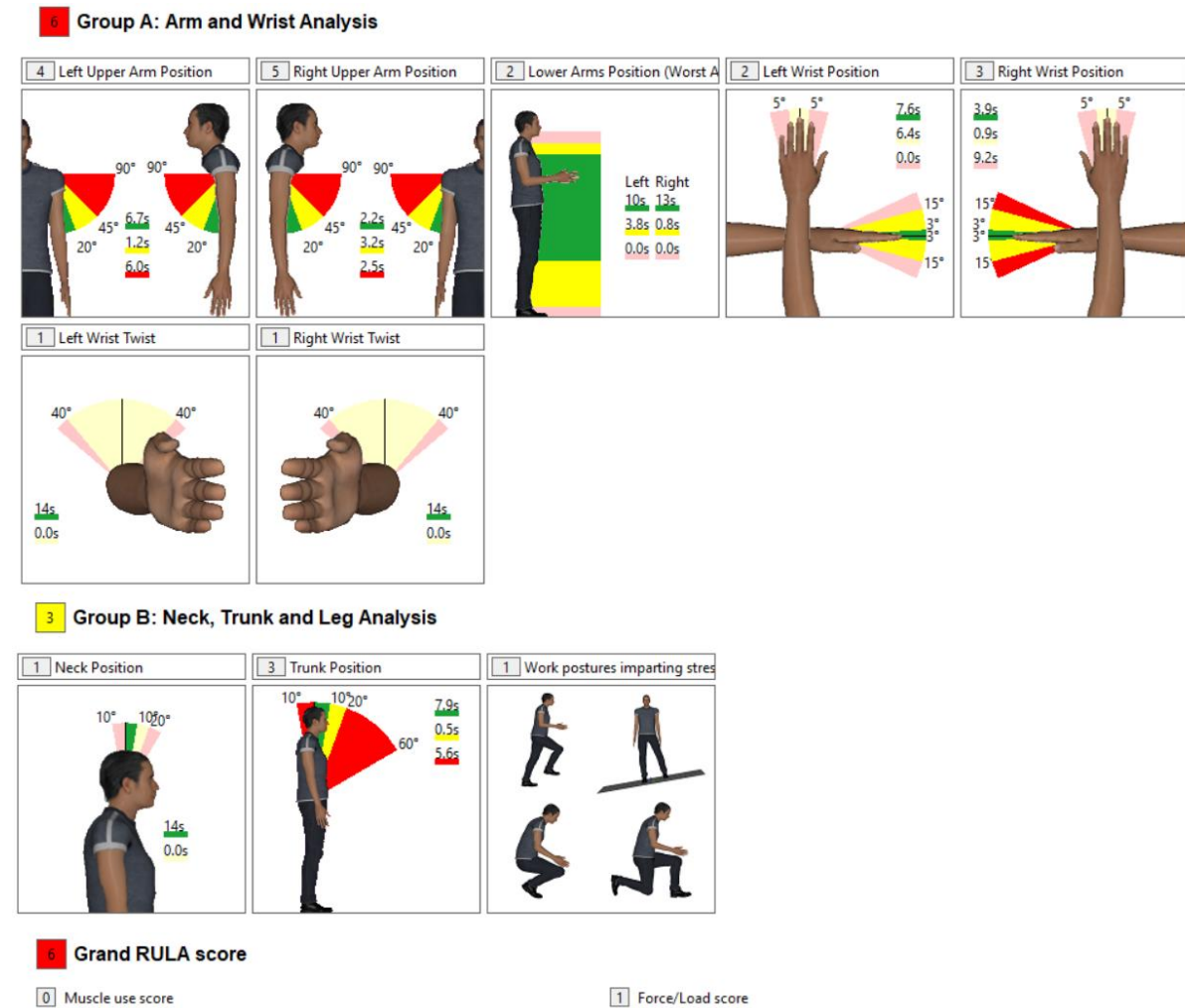
# Bilagor

## Bilaga 1: RULA-resultat för man i enbart operatör-simulering.



Bilaga 1: RULA-resultat för man i enbart operatörsimulering.

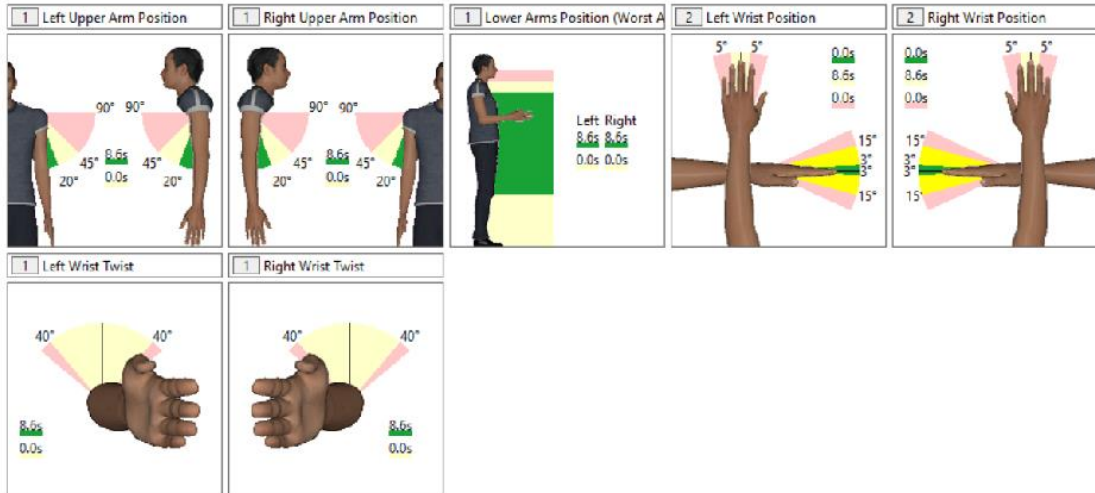
## Bilaga 2: RULA-resultat för kvinna i enbart operatörsimulering.



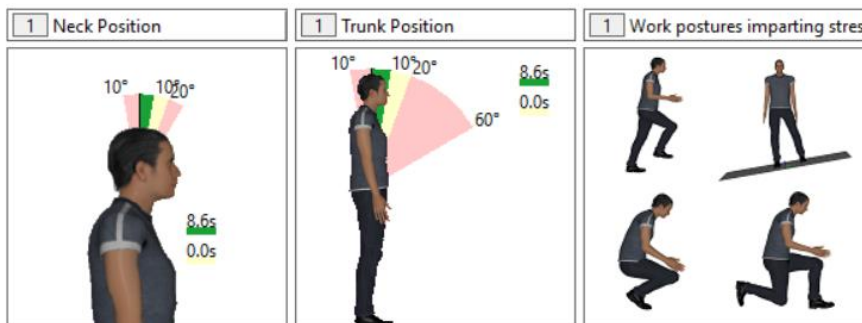
Bilaga 2. RULA-resultat för kvinna i enbart operatörsimulering.

# Bilaga 3: RULA-resultat för man i operatör och kollaborativ robotsimulering.

## 4 Group A: Arm and Wrist Analysis



## 1 Group B: Neck, Trunk and Leg Analysis



## 3 Grand RULA score

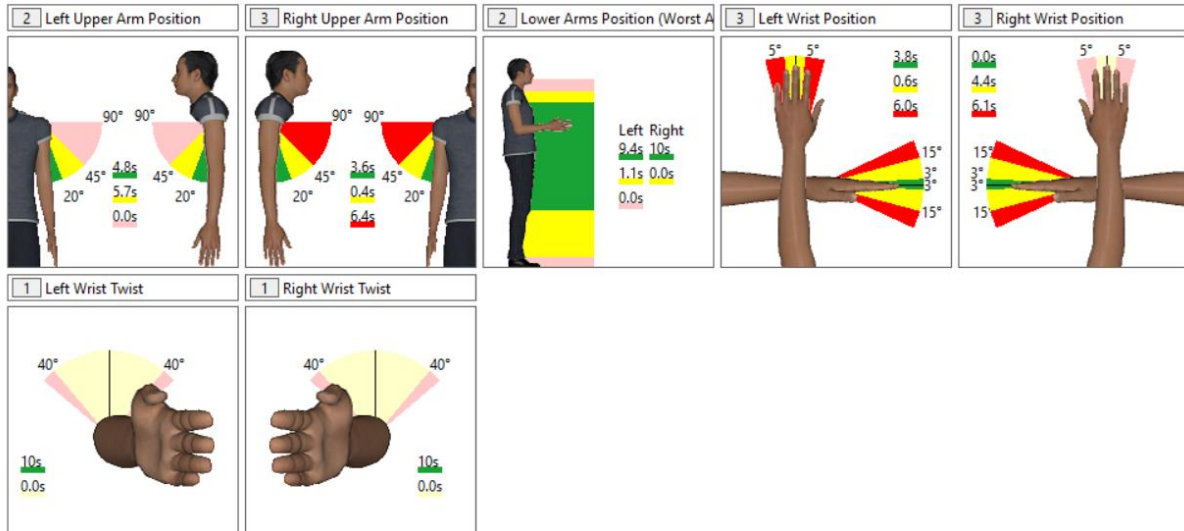
0 Muscle use score

0 Force/Load score

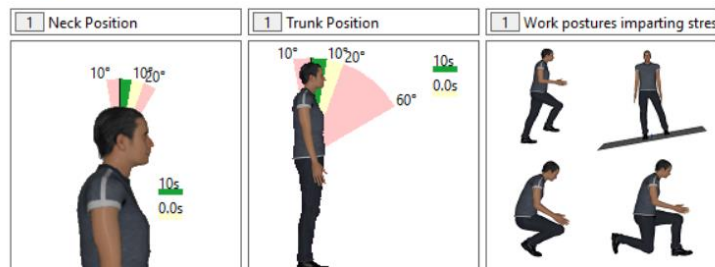
Bilaga 3. RULA-resultat för man i operatör och kollaborativ robotsimulering.

# Bilaga 4: RULA-resultat för kvinna i operatör och kollaborativ robotsimulering.

## 4 Group A: Arm and Wrist Analysis



## 1 Group B: Neck, Trunk and Leg Analysis



## 3 Grand RULA score

0 Muscle use score

0 Force/Load score

Bilaga 4. RULA-resultat för kvinna i operatör och kollaborativ robotsimulering.