

VIRTUAL SPOT WELDING



Utvärdering av VR som upplärningsplattform för manuell punktsvetsning

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

HENRIK SÖDERLUND
LEONARD BOGOJEVIC

EXAMENSARBETE IMXS20

Virtual Spot Welding

Utvärdering av VR som upplärningsplattform för manuell
punktsvetsning

*Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet
Maskinteknik*

Henrik Söderlund
Leonard Bogojevic

Institutionen för Industri- och Materialvetenskap

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2018

Virtual Spot Welding

Utvärdering av VR som upplärningsplattform för manuell punktsvetsning

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Maskinteknik

Henrik Söderlund

Leonard Bogojevic

© Henrik Söderlund & Leonard Bogojevic, 2018

Institutionen för Industri- och Materialvetenskap

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

En person med VR-utrustning demonstrerar en virtuell simulation. Samma vy som personen ser i VR-glasögonen visas på skärmen i bakgrunden.

Institutionen för Industri- och Materialvetenskap

Göteborg 2018

Virtual Spot Welding

*Bachelor's thesis in the Engineering programme
Mechanical Engineering*

HENRIK SÖDERLUND

LEONARD BOGOJEVIC

Department of Industry and Material science
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

This report evaluates the possibilities of using VR as an educational platform for industrial workers in manual spot welding operations. Furthermore, the potential of how VR can be used to improve the quality, lead time, and operator ergonomics in a production environment is investigated. The investigation is directed towards the training of new staff who lack previous experience of their forthcoming tasks. The study is based on the development of a simulation for manual spot welding operations in VR, which is later used in user tests and interviews to answer the questions at issue. The project was commissioned by Virtual Manufacturing whilst the majority of the development took place in the Stena Industry Innovation Laboratory at Chalmers campus Lindholmen.

The established project resulted in a VR application that simulates a manual spot welding operation which is intended to be used for educational purposes. The solution provides the user of the simulation with the possibility to interact and test welding in a virtual environment. The interaction takes place by means of a physical dummy that mimic the real weld gun, which provides the user to perceive a more realistic experience.

The studies carried out, with the simulation as basis, showed that learning in a VR environment is good for creating a first feel and insight into future tasks. The currently used education is not entirely replaceable by a VR platform since it is difficult to create a realistic experience and replicate the precision required to properly execute the tasks with sufficient accuracy. However, the technology and application shows great potential in other areas such as preproduction and ergonomic studies.

Virtual Spot Welding

Utvärdering av VR som utbildningsplattform för manuell punktsvetsning

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Maskinteknik

HENRIK SÖDERLUND

LEONARD BOGOJEVIC

Institutionen för Industri- och Materialvetenskap

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

I denna rapport utvärderas möjligheterna för att använda VR som en utbildningsplattform för industriarbetare i en manuell punktsvetsoperation. Vidare undersöks potentialen för hur VR kan användas för att i en produktionsmiljö förbättra kvalitet, genomloppstid och operatörens ergonomi. Frågeställningarna riktas mot upplärning av ny personal som saknar tidigare erfarenheter av sina kommande arbetsuppgifter. Studierna baserar sig på en egenutvecklad simulation för manuella punktsvetsoperationer i VR och används senare i användartester och intervjustudier för att svara på de frågor som ställts. Projektet utfördes på uppdrag av Virtual Manufacturing och majoriteten av all utveckling skedde i Stena Industry Innovation Laboratory på Chalmers campus Lindholmen.

Projektet resulterade i en VR-applikation som simulerar en verklig punktsvetsoperation, med avsikt att användas i utbildningssyfte. Specifikt för projektets lösning är att användaren av simuleringen kan interagera och testa svetsning i en virtuell miljö. Interaktionen sker med hjälp av en fysisk attrapp som efterliknar den verkliga svetstången, vilket i sin tur leder till en mer realistisk upplevelse hos användaren.

De utförda studierna, med simulationen som underlag, visade på att upplärning i VR-miljö är bra för att skapa en första känsla och ge insyn i kommande arbetsuppgifter. Den befintliga upplärningen går inte att enbart ersättas av en VR-plattform, då det är svårt att skapa en exakt känsla och återskapa den precision som krävs för att på ett korrekt sätt utföra sina arbetsuppgifter med noggrannhet. Däremot visar tekniken och applikationen stor potential inom andra områden, såsom ergonomistudier och produktionsberedning.

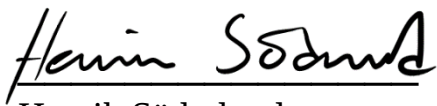
FÖRORD

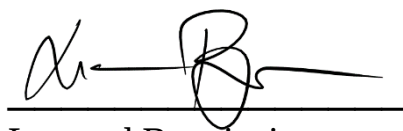
Det här examensarbetet är genomfört av två studenter från högskoleingenjörsprogrammet för Maskinteknik på Chalmers Tekniska Högskola. Arbetet har pågått i 20 veckor från januari 2018 till juni 2018 och utgör 15 högskolepoäng av de 180 poäng som programmet motsvarar. Arbetet gjordes på institutionen för *Industri och Materialvetenskap* (IMS) och i samarbete med Virtual Manufacturing.

Vi skulle i första hand vilja tacka vår examinator, Åsa Fasth Berglund, som gav oss möjlighet att arbeta i det nya SII-Laboratoriet på Chalmers campus Lindholmen. Vi vill dessutom tacka vår handledare, Liang Gong, för att vi fick låna all tänkbar utrustning som kunde tänkas vara till användning under projektets genomförande.

Vi vill även tacka vår handledare från Virtual Manufacturing, Kåre Folkesson, som tillsammans med kollegor bistått med rådgivning under projektet. De hjälpte oss även med kontakter på Volvo Cars som i sin tur skapade möjligheterna till utförandet av förstudien på Pilot Plant. Speciellt tack till Anders Alexandersson, Jens Johansson och Per Gredenäs och dess delaktighet i projektet. De har varit nyfikna i projektets utveckling och har fått oss att under all tid känna oss välkomna hos Volvo Cars.

Slutligen vill vi tacka våra studiekamrater, Axel Cullberg och Kevin Wickberg, som har varit tillgängliga och agerat bollplank där vi kunnat tala fritt om idéer och tankar kring projektet.


Henrik Söderlund


Leonard Bogojevic

Göteborg, Maj 2018

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

ABSTRACT	I
SAMMANFATTNING	II
FÖRORD	III
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	IV
ORDLISTA	VI
1. INTRODUKTION	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte	1
1.3 Frågeställningar	2
1.4 Avgränsningar	2
1.5 Rapportöversikt.....	2
2. TEORI.....	3
2.1 Punktsvetsning.....	3
2.1.1 Funktionsbeskrivning.....	3
2.1.2 Användningsområden	4
2.1.3 Dagens upplärningsprocess	5
2.1.4 Process Simulate	5
2.2 Virtual reality	6
2.2.1 Funktionsbeskrivning.....	6
2.2.2 Användningsområden	7
2.2.3 HTC Vive	7
2.2.4 Extended reality	8
2.3 Unity.....	9
3. METOD	10
3.1 Observationer	10
3.2 Intervjuer	11
3.3 Utveckling.....	11
3.3.1 Attrapp.....	11
3.3.2 Program	12
3.4 Validering	13
4. RESULTAT	14

4.1 Resultat av observationer	14
4.2 Resultat av intervjuer	15
4.3 Resultat av utveckling.....	18
4.3.1 Attrapp.....	18
4.3.2 3D-Miljö	19
4.3.3 Handkontrollens funktionalitet	21
4.3.4 Programmetts funktionalitet.....	21
4.3.5 Svetspunkters funktionalitet	23
4.4 Resultat av validering	24
5. DISKUSSION.....	27
5.1 Metoddiskussion.....	27
5.2 Resultatdiskussion.....	28
6. SLUTSATS OCH REKOMMENDATIONER.....	29
7. KÄLLFÖRTECKNING.....	31

ORDLISTA

<i>Adobe 3Ds Max</i>	- Programvara för animering och rendering
<i>AR</i>	- Augmented Reality, förstärkt verklighet
<i>Body in white</i>	- Steg i tillverkningsprocess då fordorns kaross sammanfogas
<i>Catia</i>	- Programvara för CAD
<i>Collider</i>	- Virtuellt barriär i Unity
<i>Geometripunkt</i>	- Geometribestämande svetspunkt
<i>HMD</i>	- Head mounted display
<i>Industri 4.0</i>	- Kommande steg i den industriella revolutionen
<i>MFG/CSV</i>	- Manufacturing file/Comma-separated Value file
<i>Parent/Child</i>	- Tillhörighet i programhierarkin i Unity
<i>PDPS</i>	- Process Design / Process Simulate
<i>Pilot Plant</i>	- Volvo Cars pilotfabrik
<i>PLM</i>	- Product life cycle management
<i>Ramp-up</i>	- Successiv minskning av genomloppstid
<i>Robotstudio</i>	- Programvara från ABB för programmering av industrirobotar
<i>SII-lab</i>	- Stena Industry Innovation Laboratory
<i>Teamcenter</i>	- Programvara för PLM
<i>VR</i>	- Virtual Reality, virtuell verklighet

1. INTRODUKTION

Examensarbetet har utförts i samarbete med Virtual Manufacturing med syftet att undersöka om VR kan användas för operatörsträning av manuell punktsvetsning. Arbetet är utfört på Virtual Manufacturing's huvudkontor i Göteborg samt på Stena Industry Innovation Laboratory på Chalmers campus Lindholmen.

1.1 Bakgrund

Virtual Manufacturing erbjuder innovativa lösningar inom modern produktionsutveckling till företag inom tillverkningsindustrin. Virtuella teknik ligger i företagets specialiseringsområde. Utbud och efterfrågan för VR-tekniken är i ett skede då det stadigt ökar och tekniken blir ständigt bättre och mer tillämpbar. Utifrån dessa tankar och idéer utvecklades frågan om det är möjligt att framställa en VR-miljö för en manuell punktsvetsstation.

Manuell punktsvetsning lämnar i dagens samhälle operatören med en del svårigheter och problem vid ramp up för nya produkter. Anledningen till detta kan vara ineffektiv och otillräcklig upplärning som i sin tur påverkar ledtid, kvalitet och arbetsförhållanden. Den upplärning som görs idag är dyr och utförs ofta på arbetsplatsen med befintliga produkter. Detta kan vara en faktor i uppstånden av flaskhalsar i produktionen och påverkar på så sätt hela produktionskedjan.

I en konkurrenskraftig och innovativ bransch som fordonsindustrin krävs ständiga introduktioner av nya produkter och innovationer för att hålla jämna steg med sina konkurrenter. Detta kräver en flexibel och anpassningsbar produktion där montörer och industriarbetare snabbt och ofta behöver omskolas på de ständigt förnyade produkterna. I en bransch som dessutom är hårt pressad av kvalitetskrav och korta genomloppstider är det viktigt att inte låta dessa påverkas negativt vid ramp ups för nya lanseringar. Bristande upplärningsprocess bland anställda i produktionskedjan är en huvudfaktor som kan leda till att kvalitet och genomloppstider påverkas negativt.

Majoriteten utav dagens operatörer får i huvudsak sin utbildning och upplärning ”on-line”, dvs. i en verklig produktionsmiljö där man arbetar med verkliga order. I takt med teknikutvecklingen och framsteg inom VR och AR-teknik finns förhoppningar om att utveckla denna upplärning i en pilotmiljö i den virtuella världen. Man vill med hjälp av dessa tekniker skapa möjlighet till att ge fler medarbetare chansen att träna utanför den aktiva produktionsmiljön och ge dem den erfarenhet och upplärning som uppgiften kräver för att säkerställa kvalitet i den verkliga produktionsmiljön. Förhoppningsvis kan denna teknik ge en ökad tillgänglighet av tillförlitlig utbildning till en lägre kostnad.

1.2 Syfte

Gruppens uppgift är att utveckla en manuell punktsvetsstation i en virtuell miljö, för att sedan undersöka om metoden kan ge stöd i en upplärningsprocess för operatörer.

1.3 Frågeställningar

Rapportens strävar efter att ge svar på frågeställningarna som redovisas nedan.

- *Är det möjligt att flytta den befintliga upplärningsmiljön inom manuell punktsvetsning in till en virtuell miljö?*
- *Kan VR ersätta den befintliga operatörsträningen och samtidigt förbättra kvalitet, ramp up tid och ergonomi?*

1.4 Avgränsningar

Projektet framställs med hjälp av uppdragsgivaren, *Virtual Manufacturing*, och riktas mot *Volvo Cars* som även stödjer projektet med diverse mätningar och data i rapportens syfte. Rapporten och undersökningen inkluderar endast lösningsmetoder som berör VR. Delar av denna information går sedan att överföras till AR/MR för framtida utveckling men är inget som kommer utvecklas under projektets gång.

Under genomförandet av arbetet valde projektmedlemmarna att avgränsa vissa delar till en följd av tidsbrist. Detta inkluderar vidare studier kring ergonomi, detaljprogrammering och ingående delar i valideringsprocessen. Aspekter angående ergonomin berörs under projektet och hypotes kring dess användbarhet görs i avsnitt 6. *Slutsats och rekommendationer*. Det fanns även rum för ständig förbättring av detaljprogrammeringen som i sin tur skulle kunna generera en bättre upplevelse i simulationen. Valet gjordes dock att inte gå vidare med detaljprogrammeringen väl när huvudfunktionerna var på plats, för att lämna tid åt rapportskrivande och presentationsförberedelser.

Valideringen var från början tänkt att omfatta tester och mätningar på kvalitet, ramp up och ergonomi. Beräkningarna valdes att avgränsas och valideringen omfattas istället av tester och kvalificerade hypoteser kring punkterna.

1.5 Rapportöversikt

Rapporten är uppbyggd med underrubriker från de huvudsakliga delar som haft en grundläggande roll i utformandet av projektet. En teoridel tillkommer med bakgrundsförklaring till de områden som kan tänkas vara väsentliga för läsaren att känna till för att få en ökad förståelse av rapporten och dess resultat. Ett metodavsnitt respektive motsvarande resultatavsnitt finns också redovisat där projektmedlemmarna går igenom rapportens metodologi och sedan resultatet från denna. Rapporten avslutas med en diskussionsdel som benämns som *Slutsats och rekommendationer* där resultatet ifrågasätts och utvärderas.

2. TEORI

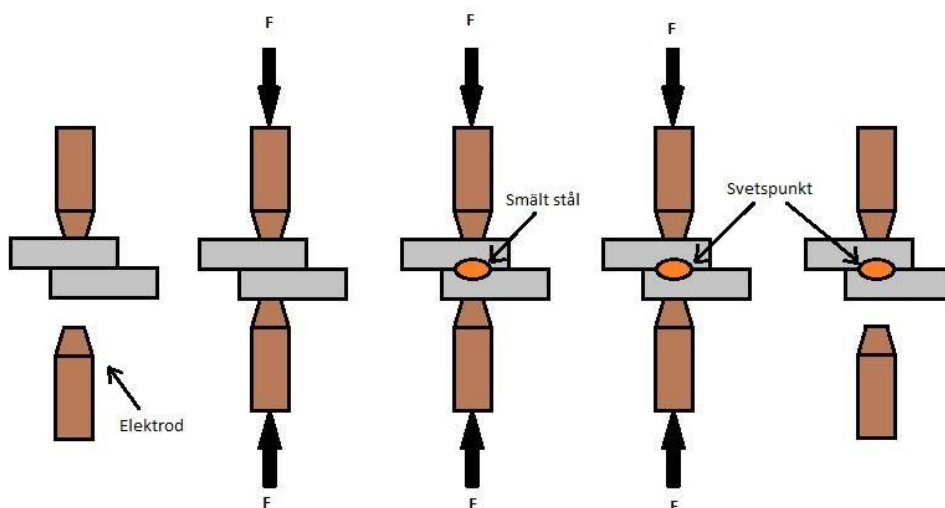
I detta kapitel presenteras den teori som ligger till grunden för projektets fortskridning och resultat. Kapitlets syfte är att förmedla den väsentliga kunskap som krävs för att ge en god uppfattning om rapportens resultat och diskussion.

2.1 Punktsvetsning

Punktsvetsning är i dagsläget den absolut vanligaste svetsmetoden inom fordonsindustrin. Det är en billig och snabb svetsmetod som enkelt kan automatiseras vilket har legat till bakgrund till dess stora användning och framgång[1].

2.1.1 Funktionsbeskrivning

Punktsvetsning är en form av motståndssvetsmetod som används vid sammansvetsning av två plåtar. Med hjälp av två koppel­elektroder pressas plåtarna ihop och en mycket hög ström leds mellan de två elektroderna. Då uppstår en hög inre resistans i plåtarna vilket övergår till värme som lokalt smälter materialet och sammanfogar plåtarna, se figur 2.1 [2].



Figur 2.1: Illustration av ett händelseförlopp för motståndssvetsning. Kevin Wickberg (2018).

Hela processen är oftast över inom loppet av en sekund och kan delas in i 3 olika delprocesser; anläggningstid, svets­tid och hålltid [3]. Anläggningstid är den tid som krävs för att de båda elektroderna ska få tid att placera sig på ytan och bygga upp ett tryck mellan de två plåtarna. Svets­tid är den tid då ström flödar mellan elektroderna och sammanfogning sker. Hålltid är den tid som ges till materialet att igen svalna innan elektroderna släpper trycket mellan plåtarna och svetsprocessen är fullbordad. Hela svetsprocessen upprepas ett flertal gånger på förutbestämda punkter tills de båda plåtarna är väl sammanfogade och önskvärd hållfasthet och geometri är uppnådd [1].

Inom industrin fördefinieras oftast svetspunkterna under en beredningsprocess för att säkerställa kvalite i produktionen. Under denna process görs beräkningar på svetspunkternas potentiella positioner för att säkerställa hållfasthet och kvalitet. Beräkningarna omfattar även hur många punkter som ska sättas ut. Även så kallade geometripunkter utses, vars syfte är att förankra och låsa geometrin och säkerställa att de båda sammansvetsade plåtarnas position inte rubbas under svetsprocessen. Det är därför viktigt att geometripunkterna svetsas först i en korrekt följd för att förbinda geometrin och inte vanställa plåtarnas position och form. Detta framkom i en personlig kommunikation med Per Gredenäs (avdelningsansvarig på Volvo Cars Pilot Plant, 14 februari 2018). Resterande punkter kan sedan svetsas i mer oordnad följd utan att riskera konsekvenser på plåtarnas geometri. Som en del av beredningsprocessen utförs även simuleringar på åtkomlighet av de olika punkterna för att försäkra sig om att svetsning är möjlig. Simuleringar av detta samt definition av svetspunkterna görs i många fall i PLM-System [4].

Det finns i dagens samhälle flera olika typer av punktsvetsmetoder med olika typer och storlekar av svetstänger. Volvo Cars Pilot Plant använder sig mestadels av punktsvetsar från ARO Welding Technologies, ett ledande företag som specialiserar sig inom moståndssvetsning [5]. En punktsvets väger vanligen runt 100+ kg men fästs i en Spring Balancer i en kran som löper ovanför operatören. Dess syfte är att ta upp viktbelastningen från ett verktyg, i det här fallet en manuell punktsvets, för att skapa ett viktlöst tillstånd för verktyget. Med hjälp av Spring Balancern och dess fjädrande egenskap lyckas tången uppnå ett nästintill viktlöst tillstånd och balanseras på alla roterande axlar samt i vertikal ledd. En svetstång från ARO Technologies visas i figur 2.2. [6]



Figur 2.2: Svetstång av typ "C-gun" från ARO Welding Technologies. *Tagen med rättigheter.*

Trots Spring Balancerns förmåga att skapa ett viktlöst tillstånd på punktsvetsen, så uppfattas verktyget som relativt otymplig och trög vid förflyttningar. Detta beror mestadels av den marginella tidsfördröjning som uppstår i rörelserna och förflyttningen av svetstången.

2.1.2 Användningsområden

Inom fordonsindustrin används punktsvetsning oftast under "Body in White"-processen som med hjälp av robotar automatiserat sammanfogar de många plåtar som utgör karossen. Då motståndssvetsning till skillnad från MIG och MAG-svetsning inte tillför material under

svetsprocessen, är denna teknik enklare att kontrollera och möjligtvis lättare att systematisera i en automatisk process [7]. Punktsvetsningens enkla metodik och snabba bearbetningstid är i synnerlighet mycket bra lämpad för automation. Industriklassade robotar kan enkelt utrustas med svetsstänger för att under kortast möjliga tid sammansvetsa en hel kaross. Den västerländska bilindustrin domineras av automatiserad punktsvetsning där manuell punktsvetsning enbart används i lägre serieproduktion eller i pilotfabriker. Samtidigt dominerar manuell punktsvetsning industrin i många asiatiska länder där nivån av automation tenderar att vara lägre än hos motsvarande tillverkare i Europa. Enligt en personlig kommunikation med Anders Alexandersson (produktionsingenjör, Volvo Cars, 14 februari 2018) framkom att anledningen till detta är de oftast mycket lägre lönerna och personalkostnaderna. En investering av industrirobotar anses därmed vara oekonomisk.

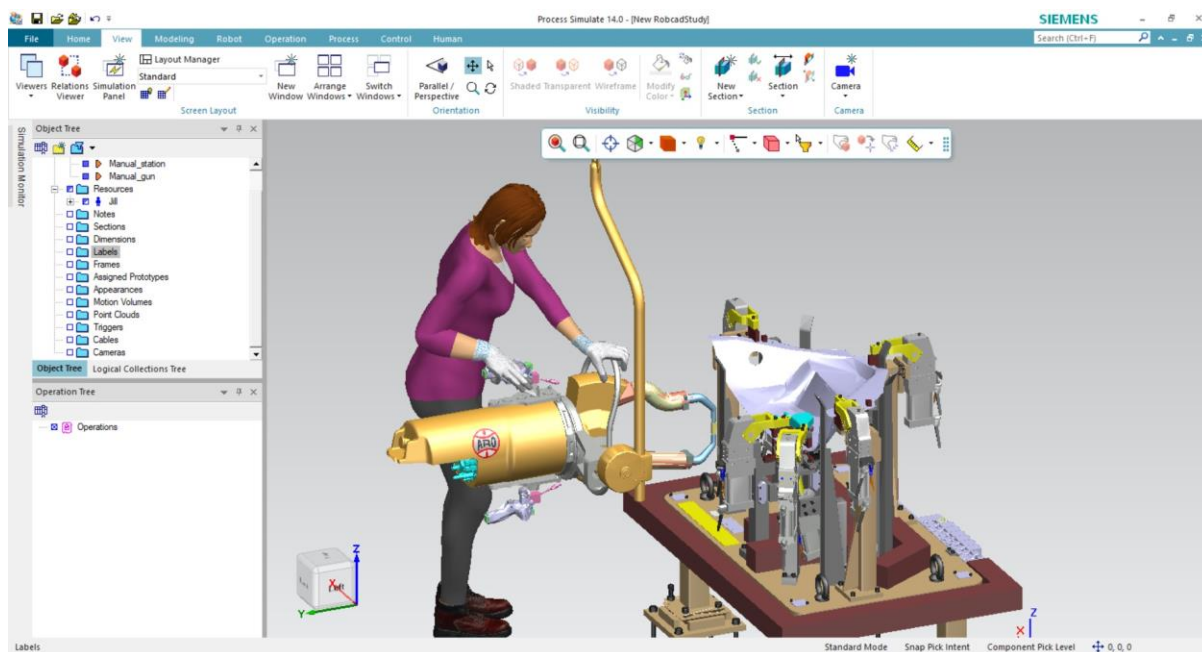
2.1.3 Dagens upplärningsprocess

För de flesta punktsvetsare och industriarbetare är arbetsplatsen det enda stället att lära sig sitt yrke på. Detta kan bero på att produkterna och produktionssystemet är unika för alla företag och verksamheter. På grund av detta sker upplärningen för de flesta operatörer i fabriken, på produktionslinan och med reella detaljer. De praktiska kunskaper som är nödvändiga i arbetet är svåra att förmedla genom en formell skolutbildning. Upplärning genom lärlingssystem är därför den absolut vanligaste formen av upplärning, där lärandet sker parallellt med en aktiv produktion på arbetsplatsen [8].

2.1.4 Process Simulate

Process Simulate är en del av den Siemens utvecklade PLM plattformen TeamCenter. Programmet är en mjukvaruplattform för behandling av en produkts livscykel. TeamCenter behandlar produkten från design och utvecklingsstadiet till tillverkningsprocess och eventuella reklamationer och reparationer [9]. Process Simulate är den del av plattformen som behandlar produktionsberedningen, tänkt för att kunna visualisera och simulera ett produktionsflöde för en viss produkt innan det tas i bruk [10].

Volvo Cars använder sig i dagsläget av Process Simulate under karossberedningsarbetet och simuleringen av svetspunkter. Programvaran i sig är ett 3D verktyg som med hjälp av CAD modeller visualiserar monterings och svetsprocesser, se figur 2.3.



Figur 2.3: Simulering av manuell punktsvetsning i Process Simulate.

Programmet visualiserar och uppmärksammar eventuella kollisioner mellan svetsstång och fixtur för de utsatta svetspunkterna. Därefter kan ingenjörerna på beredningsavdelningen förflytta en punkt för att öka åtkomsten för operatören. Simulering av åtkomst är i dagsläget i många fall den enda simuleringen som utförs gällande manuell punktsvetsning. Mer utförliga ergonomistudier och tidsstudier genomförs ej, vilket lämnar stora möjligheter för förbättring i beredningsarbetet. Detta framkom i en personlig kommunikation med Jens Johansson (Manufacturing Engineer, Virtual Manufacturing, 14 februari 2018).

2.2 Virtual reality

Virtual reality är ett datorgenererat scenario som är till för att avspegla och simulera en verklig upplevelse. Genom att påverka användarens sinnen i form av syn, hörsel och känsel manipuleras användaren till att uppleva en realistisk och trovärdig bild av verkligheten i en artificiell virtuell miljö. Virtual Reality förkortas oftast som VR [11].

2.2.1 Funktionsbeskrivning

Dagens VR produkter använder sig i de flesta fall av ett HMD-system. Systemet kan liknas med glasögon och placeras på användarens huvud och omsluter användarens visuella synfält. Med hjälp av optik och två displayer, en för vardera öga, ges intrycket av en tredimensionell upplevelse. Ett par hörlurar kan användas för att helt och hållet avskärma användaren från omgivningen och ge en extra dimension i upplevelsen. HMD-systemet är utrustat med accelerometer samt ett tracking system för att kunna lokalisera användaren väl inne i den virtuella miljön [12]. Accelerometrarna ger även möjlighet för användaren att förflytta sitt synfält genom att röra sitt huvud, vilket som förstärker intrycket och känsla av en realistisk upplevelse.

För att kunna interagera och manipulera objekt väl inne i den virtuella miljön kompletteras i många fall HMD-systemet med en eller flera kontroller eller sensorer och är oftast burna i användarens händer. Dessa används för att lokalisera användarens händer inne i den virtuella världen och ger möjlighet att interagera med objekt via rörelse och beröring. Kontrollerna är även utrustade med programmerbara knappar som ger utvecklare möjlighet att anpassa dess funktion och syfte allt efter önskemål [11].

2.2.2 Användningsområden

I dagsläget används VR i flera olika områden då tekniken och marknaden har nått en hög mognadsgrad. Implementeringar och användandet av VR används i både professionella såväl som underhållnings syften och har mångdubblats de senaste åren.

Pionjärerna inom VR utvecklade tekniken med syfte att ge spel och nöje ytterligare en dimension. Produkter som Sensorama och Nintendos Virtual Boy lanserades för att huvudsakligen tillfredsställa konsumenterna genom en spännande och unik upplevelse[13]. Men tekniken visade sig snabbt kunna anpassas och användas i utbildning såväl som i forskning och industri. Ett tidigt exempel på detta är NASA som 1985 utvecklade en VR applikation med hjälp av ett HMD-system för att ge astronauter och forskare möjlighet att i en virtuell miljö utföra och öva på de moment som senare ska utföras under deras rymdpromenader[14].

Tillsammans med utvecklingen av industri 4.0 kommer VR-teknikens fulla potential inom området visas. VR kan tänkas spela en stor och betydande roll i framtidens industri i områden såsom utveckling, beredning och utbildning. Utvecklare och konstruktörer kan få ett helt nytt visuellt verktyg för att utföra simuleringar och tester av prototyper utan att behöva en fysisk produkt och skulle därmed kunna spara tid och utvecklingskostnader [15]. VR skulle också kunna ha en betydande roll när det gäller beredningsarbeten såväl som produktionssimuleringar av layout och flöden. ABB har sedan några år tillbaka använt sig av VR i kombination med Robotstudio för att låta programmerare testa att guida robotar i den virtuella världen för att sedan översätta de virtuella rörelserna till verklig kod [16]. Slutligen kan VR tänkas revolutionera sättet som utbildningen inom industrin sköts. Den framtida utbildningen av montörer såväl som maskinoperatörer och specialister kommer mer och mer förflyttas till den virtuella miljön, något som vissa branscher och företag redan har tillämpat [17].

2.2.3 HTC Vive

HTC Vive är en den VR-plattform som använts under projektets gång. Det är också det system som den slutgiltiga applikationen är ämnad och avsedd för. HTC Vive är framtaget av företaget HTC och består av ett HMD-system samt tillhörande handkontroller. HMD-enhetens och kontrollernas positions uppdateras med hjälp av två lighthouse-sensorer som placeras ut i taket på varsin ända av spelytan, se figur 2.4 [18].



Figur 2.4: HTC Vive-system med tillhörande kontroller och lighthouse. *Tagen med rättigheter.*

Kontrollerna har 3 programmerbara knappar vardera:

- en *gripper*, lokaliserad längst ner på handtaget
- en *trigger*, lokaliserad på kontrollens undersida
- en multifunktionell *touchpad*, lokaliserad på kontrollens ovansida

Alla knappar kan definieras och programmeras för att uppnå åtråvärd funktion via C#-script. Utöver ett aktivt och inaktivt läge kan touchpaden även programmeras för att känna igen mönster och sekvenser av användarens beröring på touchpaden. Detta öppnar upp för en mängd möjligheter till specialanpassade lösningar av input och datainsamling för olika sorters applikationer och program [19].

2.2.4 Extended Reality

Extended reality, förkortning xR, är en term som omfattar all datorgenererad teknik som möjliggör för interaktion mellan verklig och virtuell miljö. Inom denna term ingår Augmented reality (AR), Mixed reality (MR) och Virtual reality (VR) [20]. Skillnaden mellan de olika teknikerna är att AR baserar sig mer på fysiska system, medan VR utgår till fullo från ett cybersystem. Mixed reality är ett samlingsnamn för de system som befinner sig mellan AR och VR, och utnyttjar delar av de båda systemen i kombination. Figur 2.6 visar relationerna mellan de olika xR-teknikerna med hänvisning till transformation från fysisk miljö till virtuell miljö.



Figur 2.5: Relation mellan xR-teknikerna med hänvisning till respektive miljöområde. *Egen figur.*

Augumented reality är en teknik som handlar om att ”förstärka” användarens visuella synfält med information och är baserat på följande tre funktionaliteter:

- Kombinera verkliga och förstärkta objekt
- Interaktivt och i realtid
- Den förstärkta och den verkliga världen ska stämma överens geometriskt

Detta möjliggörs huvudsakligen genom tre olika system; handhållna enheter (smartmobil), huvudburna glasögon (smartglasögon) och rumsbestämmande teknologi (projektor/hologram) [20].

2.3 Unity

Unity är en välanvänd och populär spelmotor som i huvudsak används till utveckling av spel och simulationer i 2D så väl som 3D-miljöer. Grundläggande fysik och logik är fördefinierat i spelmotorn och kan på ett enkelt sätt implementeras via drag-and-drop funktionalitet. För mer avancerad funktionalitet och anpassningar används programmering via C# [21].

Spelmiljön byggs upp med en eller flera spelobjekt som representerar objekt eller karaktärer i den virtuella miljön. Till dessa spelobjekt adderas olika komponenter som definierar objektets funktionalitet. Dessa komponenter är förprogrammerade i Unity och kan enkelt implementeras på respektive spelobjekt. Komponenterna kan i sin tur anropas och manipuleras genom C#-script för att uppnå önskad funktion. Den absolut vanligaste komponenten är *Transform* som definierar och avger objektets position i förhållande till det globala origo i 3D-världen. Funktionen kan sedan anropas i ett C#-script för att tillföra rörelse och rotation till objektet [22].

Tillsammans med Unity har spelplattformen Steam utvecklat pluginprogrammet SteamVR. Programmet möjliggör plug-and-play kompatibilitet för de vanligaste kommersiella Virtual reality HMD-systemen, såsom HTC Vive och Oculus Rift [23].

3. METOD

I detta kapitel presenteras arbetsgången för projektet och metodologin utvärderas för att ge förståelse i den genomförda processens utformning. Avsnittet vill ge svar på hur genomförandet utformats såväl som varför beslut tagits angående metodens utformning.

Inledningsvis definierades projektets mål och ramar. Tillsammans med uppdragsgivaren utarbetades sedan en samarbetsplan och struktur som låg i grund till hela projektet. En förstudie genomfördes för att ge en djupare förståelse i problemet och den nuvarande process och teknik som ingår i dagens utbildningsmaterial. Två studiebesök på Volvo Cars Pilot Plant med intervjubaserade studier utgjorde huvuddelen i den förstudie som låg till grund för projektet. En kompletterande litteraturstudie genomfördes även i takt med förstudien.

3.1 Observationer

Ett första besök på Volvo Cars Pilot Plant utfördes den 14 februari 2018, där projektmedlemmarna kom i kontakt med Anders Alexandersson, produktionsingenjör på Volvo Cars, som agerade mentor under hela mötet. A. Alexandersson vägledde gruppen till en manuell punktsvetsstation, som gruppen tidigare efterfrågat. Där möttes gruppen av Per Gregenäs, avdelningschef Volvo Cars Pilot Plant, som instruerade hur processen gick till och påpekade även personliga såväl som allmänt tänkbara problem inom svetsprocessen. Han fanns även tillgänglig för att svara på gruppens frågor som berörde punktsvetsningens process och dess arbetsmiljö. P. Gregenäs åsikter anfördes på ett pålitligt och riktigt sätt, och kunde därför uppfattas som relevanta till förstudien. Väl på den manuella punktsvetsstationen fanns möjlighet att kartlägga hela arbetsprocessen och diverse iakttagelser och observationer ur ett processbaserat perspektiv kunde göras. Vidare iakttagelser gjordes även utifrån de aspekter som berörde arbetsmiljö och ergonomi. Denna information kompletterades sedan genom webbaserade litteraturstudier och intervjuer med personer som i gruppens betraktande var insatta och kunniga inom området.

Därefter fick gruppen möjlighet att träffa Jens Johansson, vars huvudsakliga uppgift var att bereda de manuella svetspunkterna för produktion på Pilot Plant. Här introducerades Process Simulate. Väsentlig data från de olika svetspunkterna hämtas vanligtvis från denna programvara, men på grund av bristande tid fanns inte möjlighet att på ett riktigt och noggrant sätt gå igenom denna process. Detta låg i grunden till nästa möte på Pilot Plant, där gruppen fick möjlighet att träffa J. Johansson under ett kortare möte.

A. Alexandersson fanns tillgänglig för att svara på gruppens frågor under hela studiebesöket och har tillsammans med J. Johansson agerat som bollplank under projektets gång.

Ett andra besök på Volvo Cars gjordes den 16 april 2018, där projektmedlemmarna sedan tidigare bestämt träff med Jens Johansson. Syftet med sammanställningen var att få en djupare inblick i Siemens Process Simulate och hur dess funktioner kan appliceras på projektarbetets VR-simulering. J. Johansson, vars arbetsområde involverar beredningsarbete för olika punktsvetsstationer, arbetar huvudsakligen i Process Simulate och besitter

framträdande kunskaper inom programvaran i svetssammanhang. J. Johansson fanns även tillgänglig för att svara på övriga frågor inom ramarna av projektarbetet.

3.2 Intervjuer

En muntlig intervjustudie genomfördes i samband med de två besöken på Volvo Cars Pilot Plant, för att bidra med en ökad förståelse i hur upplärningen är utformad för operatörer inom punktsvetsning. Studien gav även svar på potentiella problemområden och svårigheter med processen.

Den första intervjun begrundades i 10 frågor som ställdes till P. Gregenäs, vars bakgrund inom svetsåtkomst och upplärning ansågs vara en övervägande faktor i valet av en lämplig kandidat till frågeställningen. Även A. Alexandersson fanns tillgänglig för att fylla i eller komplettera de punkter som berörde hans kompetensområde. Kommentarer på frågorna i intervjun noterades utan hänsyn till respondenten som individ, utan alla kommentarer sammanställdes i ett formulär där kommentarerna inte går att urskilja från varandra. Alla svar från den första intervjustudien kom dock från Anders Alexandersson och Per Gregenäs.

Under andra besöket hade Jens Johansson en genomgång av Process Simulate, med möjlighet att svara på projektmedlemmarnas frågor fritt under genomgången. Inga förberedda frågor togs med till mötet, utan frågorna som ställdes berörde de funderingar som uppkom under genomgångens gång.

3.3 Utveckling

En första analys av problemet och punktsvetsarnas situation utfördes baserat på resultat från studiebesök och intervjuer. Detta låg till grund till den idégenereringsprocess som hölls för att utforma det koncept för simuleringen som valdes för vidareutveckling.

Förutom att ge ett visuellt realistiskt intryck lades stor vikt vid att bibehålla den fysiska känslan vid hantering av svetsen under konceptfasen. Att ge användaren uppfattning av svetsens storlek, tröghet samt otymplighet i kombination med dess viktlöshet ansågs som en stor utmaning.

3.3.1 Attrapp

Attrappen är tänkt att ersätta den verkliga punktsvetsstången i den virtuella världen och ge användaren känsla av att hantera en fysisk svetsstång. Då avståndsbedömningar samt fysisk interaktion och känslan är svårt att återskapa i en virtuell miljö, är den fysiska attrappens syfte att komplettera den visuella input som ges från HMD-systemet med användarens känselsinne. Genom att lokalisera attrappens fysiska position inne i den virtuella miljön ges möjlighet att utföra en mer exakt avståndsbedömning, öka trovärdigheten och ge en mer realistisk känsla väl inne i simuleringen.

Attrappens utformning och storlek valdes att avspegla verkligheten till så stor utsträckning som möjligt för att återspegla den visuella uppfattningen av svetstången vid hanteringen av attrappen. En CAD-modell med tillhörande ritning togs fram med hjälp av dimensioner och mått uppmätta på den aktuella svetstång under det utförda studiebesöket på Volvo. Därefter byggdes en prototyp för att ge oss en uppfattning om dess storlek och funktion i kombination med VR-applikationen. Attrappen fortsattes att justeras och förfinas allt eftersom projektet fortskred och programmet tog form. Det var först när attrappen testades i den virtuella miljön som dess konstruktion och utformning kunde verifieras och ansättas.

En konstruktion för att fästa HTC Vive-kontrollen till attrappen togs fram efter webbaserade studier och undersökningar. Där togs inspiration från liknande lösningar på fixering av kontrollen. Utifrån dessa utarbetades tre detaljer, specifikt anpassade för vår attrapp. En fjärde detalj erhöles från en befintlig modell, och importerades med rättigheter [24].

3.3.2 Program

I början av utvecklingen av programmet definierades simuleringens ramverk och ingående delar. Beslut gällande 3D-miljöns omfång och programmets funktionalitet fattades. Med detta i baktanke tillsammans med de observationer som gjorts, togs skisser och renderingar på den vision av konceptets miljö och funktionalitet fram. Utifrån den grundläggande visionen skapades CAD-modeller i Catia samt Adobes programvara 3Ds Max på de ingående delar som bygger upp den virtuella miljön. Vad gällde 3D ritningar av fixtur och svetstång, tillhandahölls detta av Volvos Cars.

När samtliga modeller var framtagna påbörjades själva utvecklingen av mjukvaran. Som ett krav från uppdragsgivaren Virtual Manufacturing, skedde detta i spelmotorn Unity. Då kunskap inom Unity och objektorienterad C#-programmering saknades, inleddes processen med att införskaffa dessa kunskaper. Till fördel för projektet handledes detta moment utav Liang Gong, som har en bred erfarenhet och expertis av Unity och C#-programmering. Liang anordnade arbetsplatser och utrustning i Chalmers SII-Lab, där majoriteten av utvecklingen av projektet fortskred.

Tillsammans med Unity och SteamVR kunde vi snabbt visualisera den tänkta virtuella miljön för användaren i HTC-Vives HMD. För att skapa en realistisk och interaktiv simulering spenderades därefter majoriteten av tiden i labbet till att manipulera spelobjekt och förse dem med tänkt funktionalitet via C#-script.

För att skapa en användbar produkt är det viktigt att utbildningsmaterialet som framgår i simuleringen snabbt kan uppdateras efter nya produkter eller svetsprocesser utan alltför stor ansträngning och tidsåtgång. För att uppnå detta togs beslut att återanvända den information om svetsprocess och svetspunkter som fanns att tillgå från företagets PLM-system. Då kompetens och information fanns att tillgå från Volvo och deras Siemens baserade PLM-system, TeamCenter, valdes detta PLM-system för vidare utveckling. Funktionalitet togs

fram för att kunna läsa in exportfiler från TeamCenter. Denna information skulle sedan kunna användas för att uppdatera svetspunkternas position i den virtuella miljön.

3.4 Validering

Resultatet av projektet validerades under tre olika tillfällen. En första användarstudie gjordes där ungefär 20 personer bjöds in för att testa simuleringen. Deltagarna till simuleringen var personer som arbetade eller forskade inom nordisk fartygsindustri. Användarstudien utfördes den 23:e april som en del i en demonstration av SII-labbet. Här väcktes diskussion och tankar angående simuleringens miljö, visuella intryck och användarvänlighet.

Det andra tillfället ägde rum den 8:e maj under invigningen av SII-labbet. Testerna utfördes av ungefär 30 oberoende personer med olika bakgrunder och erfarenheter från industrin. Även här väcktes diskussioner och tankar angående simuleringen i helhet och dess användarvänlighet.

Användartesterna kompletterades med ett djupgående användartest och intervjustudie utförd den 14:e maj tillsammans med Per Gregenäs, Anders Alexandersson och Bengt Helamb (produktionsingenjör) på Volvo Cars Pilot Plant. De medverkande personerna under denna användarstudie ansågs ha en relevant bakgrund och var väl insatta i både svets- och beredningsprocess. Därmed bedöms resultatet av denna studie som trovärdigt och som en pålitlig källa för den kommande valideringsprocessen. De medverkande har även varit aktiva inom projektets förstudie och har god insikt i projektets syfte. Till testningen hade även ett antal frågor förberetts för att diskutera åsikter och synpunkter om simuleringen.

4. RESULTAT

I detta avsnitt redovisas resultatet från den metodologin som genomförts under projektets gång. Kapitlet är uppdelat i fyra delar som återspeglas i metodavsnittet där observationer, intervjuer, utveckling och validering framställs i fallande ordning.

4.1 Resultat av observationer

Första studiebesöket på Volvo gav gruppen en inblick i hur arbetsprocessen kan se ut i praktiken. Diverse konstateranden och iakttagelser kunde även göras. Arbetsprocessen på Volvo Cars Pilot Plant är utformad på det sättet att personal i par arbetar med att svetsa en plåt som sitter fast i en fixtur. Ena operatören håller i svetstången och riktar den statiska elektroden mot en svetspunkt och den andra arbetaren konstaterar om gripen är på rätt plats eller bör flyttas. Därefter får arbetaren vars uppgift är att hålla i svetstången en muntlig feedback från den andre arbetaren angående ytterligare instruktioner för vad som ska göras. Dessa två byter sedan plats efter vanligen en eller två färdigsvetsade delar för att minimera monotont arbete.

A. Alexandersson var noga med att framhäva att punktsvetsstationer vanligtvis inte strukturerade på samma sätt som på just Pilot Plant. Referenser drogs i jämförelse med Volvo Cars produktion i Kina, där svetsare ofta arbetar individuellt med att svetsa varje detalj. Vad som däremot ofta ser likadant ut på punktsvetsstationer i olika fabriker är instruktionslistan. Här finns alla svetspunkter för en detalj dokumenterade och utsatta i en illustration. Operatören följer sedan denna lista och ritar ut geometripunkter och övriga svetspunkter på detaljen med hjälp av en punktsvetsmatris. Punktsvetsmatrisen är en fysisk kopia av den plåt som ska svetsas, oftast gjord i papp eller i metall. Denna kopia tillverkas med svetspunkternas position markerade eller utstansade. Punktsvetsmatrisen placeras ovanpå den aktuella plåten och svetspunkterna markeras ut efter de anvisade markeringarna på matrisen.

Under observationen framgick att Volvo Cars använder sig av punktsvetsar från ARO Welding Technologies i de processer där manuell punktsvetsning krävs. Dessa svetsar finns i flera olika varianter med de två vanligaste: C-tång och X-tång, ämnade för olika applikationer och olika vinklade ytor, se figur 4.1.



Figur 4.1: Rendering i Catia av en punktsvets av typ “X-gun” från ARO Welding Technologies.

För att underlätta för användaren och göra den tunga och mycket otympliga svetstången mer manövrerbar hängs tängerna på Volvo Cars upp med en Spring Balancer i en kran som löper ovanför användaren. På grund av sekretess på företaget erhöles inget tillstånd för fotografering och därmed redovisas inga reella bilder på stationen eller utformningen av arbetsområdet.

4.2 Resultat av intervjuer

Under de två besöken på Pilot Plant ställdes flera frågor kring punktsvetsprocessen till Per Glegenäs, Anders Alexandersson och Jens Johansson. Frågeställningarna genererade ett antal konstateranden som redovisas i en överhängande text nedan. Intervjun med P. Glegenäs och A. Alexandersson berörde de frågor som handlade om upplärning- och arbetsprocessen, medan intervjun med J. Johansson handlade mer om det teoretiska arbetet bakom svetsprocessen. Kommentarer från respondenterna är inte på något sätt citerade, utan är endast en sammanställning av den diskussion som fördes.

Vid diskussion av hur man kan förenkla metoden för upplärning av manuell punktsvetsning var alla parter eniga om att VR skulle kunna vara en väg att gå. Frågan handlade istället om huruvida tekniken inom VR är mogen nog för att utföra något sådant med hög precision och verklighetsuppfattning. Vidare diskuterades hur upplärningsprocessen genomförs på företaget, där P. Glegenäs och A. Alexandersson (14 februari, 2018) berättar:

Upplärningsprocessen hos oss (Volvo Cars Pilot Plant) brukar främst äga rum på stationen med aktuella svetsdetaljer i en pågående produktion. Först får aspiranten en genomgång på en halvtimme med en svetsmästare som förklarar hur verktyget fungerar och vad som ska genomföras. Därefter erhålls ytterligare tid med en svetsare som mer noggrant går in på detaljerna med svetsningsoperationen. Efter det sker all

upplärning “on-line” genom handledning och övervakning från förmän. Själva upplärningsprocessen ska alltså inte ta mer än några timmar.

För att konstruera en så verklighetsbaserad virtuell miljö som möjligt ansågs det vara viktigt att erhålla övergripande information om hur det manuella punktsvetsarbetet utförs. Vid diskussion av vad som är mest tidskrävande och vad som uppfattas som svårast för aspiranten att lära sig under upplärningen berättar P. Gregenäs och A. Alexandersson:

Verktyget (punktsvetsen) väger över 100kg och kan trots Spring Balancern uppfattas som relativt trög och osmidig. Aspiranter brukar oftast ha svårast för placeringen av verktyget när de ska gå från en svetspunkt till en annan. Dessutom är det viktigt att svetstången träffar plåten i rätt vinkel, så att elektrodena svetsar detaljen på rätt sätt. Detta tar längst tid att lära sig, gällande punktsvetsningen.

För vidare utvärdering och validering av gruppens VR-simulering fanns det också ett intresse och relevans i att veta hur lång tid en svetsprocess tar. P. Gregenäs och A. Alexandersson förklarar under diskussionen av hur lång tid som är avmätt till att svetsa en detalj:

Alla svetsoperationer är olika och tiden för att svetsa en detalj varierar beroende på hur många punkter som ska svetsas. Vi arbetar dessutom lite annorlunda här (Pilot Plant) till skillnad från andra områden. Det är avmätt att ägna maximalt 90 sekunder åt varje punkt på pilot plant, där ungefär 60-100 punkter är normalt för en detalj. På övriga avdelningar räknar man med att en punkt ska svetsas var 8:e sekund.

Produktionen på Pilot Plant skiljer sig en aning från produktionen på andra avdelningar. På Pilot Plant arbetar de anställda i par och en avsevärt längre tid är reserverad för svetsoperationen. Trots detta finns fortfarande risker att fel och kvalitetsproblem tillkommer. Vid diskussion om de vanligaste problem och fel som uppstår i dagsläget, berättar P. Gregenäs och A. Alexandersson:

De vanligaste felen som uppstår vid operation är när operatören träffar plåten i fel vinkel. Detta kan resultera i att plåten inte svetsas fast korrekt och sitter därmed inte fast tillräckligt. Sedan är det vanligt att man “slår hål” i plåten (luftfickor mellan noderna som smäller hål i plåten), men det är inget vi kan göra åt.

För att bekräfta att alla svetspunkter har svetsats är det viktigt att operatören kontrollerar alla svetspunkter efter operationen. Om en detalj har 100 svetspunkter kan det vara jobbigt att räkna igenom alla efteråt, men det är viktigt att se till så att ingen punkt missas.

Under andra besöket på Volvo Cars diskuterades projektets utvecklingsstadie i mer detalj. Jens Johansson arbetar på karossberedningen på Volvo Cars som dels bereder svetsarbeten på Pilot Plant, och var respondent för den andra intervjustudien. Vid diskussion om beredningsarbetet berättar J. Johansson (16 april, 2018):

Beredningsarbetet för en manuell punktsvetsstation sker huvudsakligen i Process Simulate. Svetspunkterna utarbetas som MFG/CSV från PDPS och därefter skapas en processdata (projicering) för nästa delsteg. Processdata lagras som excelfiler i Process Simulate.

Svetspunkterna är uträknade och utsatta av konstruktörer och skickas sedan vidare till beredningsavdelningen. Därefter undersöks åtkomst och utformning av fixtur och plåt för att kontrollera att svetsningen är tillämpbar. Vid genomförandet av beredningen är det möjligt att arbetet skickas fram och tillbaka flera gånger mellan konstruktör och beredare för att komma fram till bästa möjliga lösning. Det är då viktigt att båda parter utgår från samma koordinater för att minimera risk för fel. J. Johansson förklarar under denna diskussion hur samarbetet fungerar mellan parterna:

Det är viktigt att använda sig utav ett gemensamt koordinatsystem vid denna process. Här på Volvo Cars och i PLM-systemet använder vi oss av "Bil-koordinat", som är ett speciellt system avsedd just för denna beredning. Origo ligger lite framför bilen med en axel som skär en mittlinje genom bilen. Ett av de andra planen är alltid negativt och det andra är alltid positivt.

J. Johansson nämner även att denna metod kan vara tidskrävande och rekommenderar därav projektmedlemmarna att inte lägga för stor vikt i att använda reella svetspunkter i projektarbetet. Han anser istället att mer fokus bör läggas på att undersöka om slumpmässiga koordinationer från en excelfil kan avläsas i simuleringen för att visa på att det är möjligt att läsa av informationen. Projektmedlemmarna valde att följa Jens Johanssons rekommendationer och kontaktade inte Volvo Cars för att få tillgång till reella svetspunkter.

4.3 Resultat av utveckling

Konceptet baserade sig på användandet av en fysisk attrapp av svetstången i verklig storlek och i kombination med ett HTC Vive-system. En simulation utvecklades där interaktion mellan den fysiska attrappen och svetstången i simulationen är möjlig.

4.3.1 Attrapp

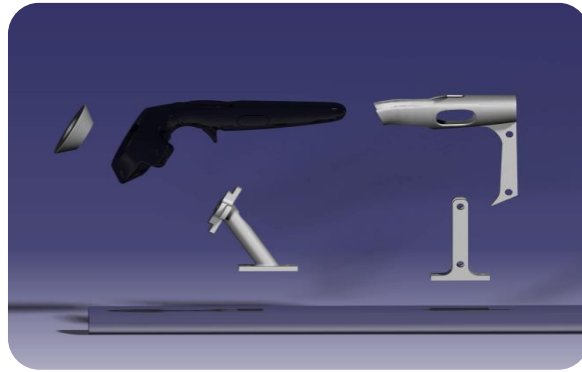
För att bibehålla svetstångens viktlösa känsla i simuleringen utan involvering av en Spring Balancer, togs beslutet att minimera attrappens vikt. Därav valdes designen av attrappen till en rörkonstruktion för att spara in på material. Även materialvalet gjordes med att erhålla låg vikt i åtanke. PVC-plast ansågs som det självklara valet då dess vikt i förhållande till sin styvhet passade sig för vår applikation. En ritning av attrappen togs fram i Catia med utgångspunkt från tillhandahållna ritningar och 3D modeller av AROs svetstänger. Dimensioner och avstånd mättes upp på den befintliga svetstången för att kunna återskapa samma storlek och därmed känsla i attrappen. En ritning och rendering av attrappen går att avläsa i bilaga A respektive bilaga B.

För att kunna lokalisera attrappens position i den virtuella miljön valde gruppen att använda sig av den befintliga HTC Vive-kontrollen som *tracking device*. Handkontrollens position uppdateras automatiskt med hjälp av HTC Vives två Lighthouse stationer. Detta innebär att ingen tredjepartsmjukvara eller hårdvara behövs implementeras för att göra positioneringen möjlig. Kontrollen har också liknande form och struktur som det befintliga handtaget på AROs punktsvetsar. Genom att ersätta attrappens tänkta handtag med HTC Vive-kontrollen tillåts både positionering samt en behaglig och trovärdig känsla hos användaren.

Fixeringen av kontrollen på attrappen sker med hjälp av en fixtur. Fixturen består av fyra 3D-printade delar, speciellt utformade och framtagna efter HTC Vive-kontrollen. Tillsammans förankrar den kontrollen och låser den i en fast position för att erbjuda enkel och stabilt manövrering av attrappen. Handtagens utformande går att se i figur 4.2 och 4.3. För att avlasta kontrollen från belastning och påfrestningar av attrappens vikt vid användning togs en integrerad designlösning fram där kontrollen och fixturen samverkar för maximal kraftöverföring genom fixturen.



Figur 4.2: Rendering i Catia av fixturens sammansatta delar för handtaget med inkluderande HTC Vive-kontroll.



Figur 4.3: Rendering i Catia av en sprängskiss av fixturens delar för handtaget med inkluderande HTC Vive-kontroll.

En första prototyp utifrån den framtagna ritningen av attrappen togs fram. Prototypen byggdes av PVC rör tillsammans med den 3D-printade fixturen för handtaget. För att möjliggöra för enkel och smidig modifikation vid behov, förankrades delarna i den första prototypen med tejp. Denna prototyp användes för vidare utveckling av simuleringen för att bedöma dess potential och eventuella brister i kombination med simuleringen. Attrappen med tillhörande fixtur för HTC Vive-kontroll visas i figur 4.4.



Figur 4.4: Prototyp av attrapp med fastmonterad HTC Vive-kontroll. *Egen bild.*

4.3.2 3D-Miljö

Efter de observationer och studiebesök utförda på pilot plant, utformades en vision av simuleringsmiljön. Den ursprungliga visionen strävade efter att efterlikna den miljö som observerades under studiebesöken, utan att påverka och missleda användarens fokus. Därmed togs beslutet att använda en sparsam miljö då en komplicerad miljö och bakgrund ansågs kunna vara distraherande för användaren. Objekt som saknar funktionalitet och interaktion

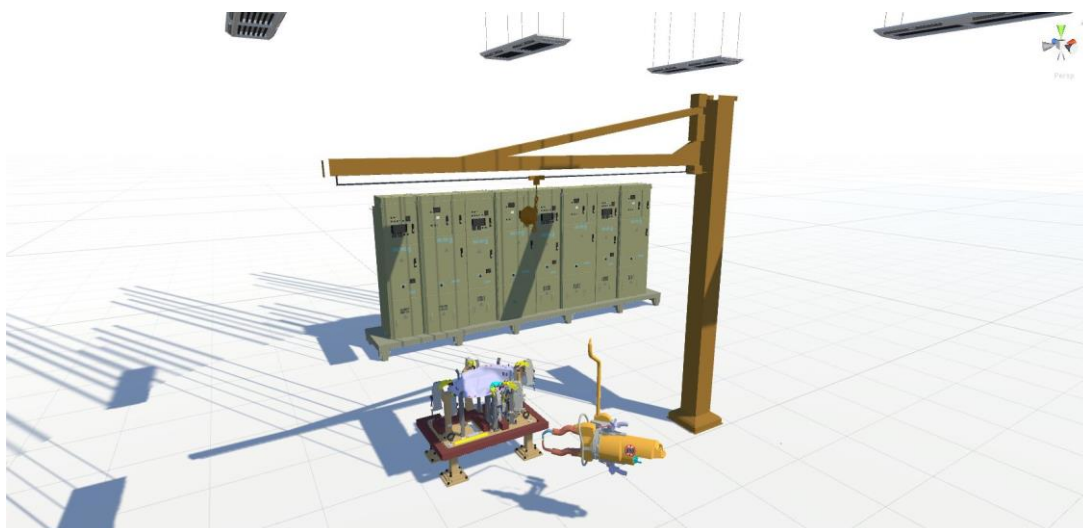
under svetsprocessen rationaliserades bort för att ge en tydlig och intuitiv bild av simuleringens mål och svetsningens process. För att förtydliga detta ytterligare valdes färgskalor med höga kontraster på de rörliga och interaktiva delarna för att urskilja dessa från bakgrund och miljön, se figur 4.5.



Figur 4.5: Rendering av visionen för 3D-miljön i 3Ds Max.

Med hjälp av en visualiserad kran med tillhörande Spring Balancer är förhoppningarna att tillsammans med attrappens låga vikt kunna återskapa en illusion av viktlöshet i attrappen. Kranen med tillhörande komponenter interagerar och följer tångens rörelse för att förstärka upplevelsen ytterligare.

De modeller och den vision som hade tagits fram omarbetades och anpassades för en implementering i spelmotorn Unity. Resultatet som presenteras nedan är den slutgiltiga miljön som användes skarpt i den kommande valideringsprocess, se figur 4.6.



Figur 4.6: Framställd 3D-miljö i spelmotorn Unity.

4.3.3 Handkontrollens funktionalitet

AROs svetstång har tre olika funktioner; stänga elektroderna, svetsa och öppna elektroderna. Dessa funktioner styrs av tre olika knappar på handtagets ovansida och sitter på rad efter varandra, alla inom räckvidd av användarens tumme. För att översätta dessa funktioner på ett bra och intuitivt sätt till attrappen samt undvika behovet av externa kretsar och knappar, togs beslutet att använda HTC Vive-kontrollens redan befintliga knappar. Av kontrollens tre programmerbara knappar, ansågs *touchpaden* och *triggern* som lämpliga för styrning av svetstångens funktionalitet. Touchpaden delades upp i mitten för att kunna hantera både stängning och öppning av elektroderna. Då utrymmet och antalet knappar på kontrollens ovansida är begränsat togs beslutet att förflytta svetsfunktionaliteten till trigger-knappen på kontrollens undersida. Nedan visas en sammanfogad bild där svetstångens respektive HTC Vive-kontrollens knappfunktioner presenteras, se figur 4.7.



Figur 4.7: Visualisering av svetstång och dess funktionalitet (vänster) samt HTC Vive-kontrollens knapplayout med respektive funktionalitet. Två knappar på kontrollens ovansida (*center*) och en knapp på kontrollens undersida (*höger*).

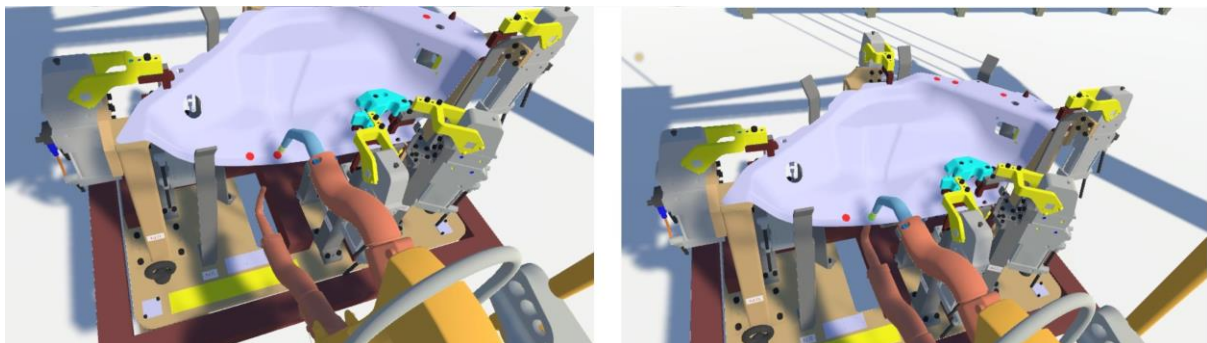
Med hjälp av ett C#-script avläses kontrollens och knapparnas status för att sedan skicka vidare denna information till respektive spelobjekt. Därefter bearbetas knapparnas status för att manipulera animation av svetsning samt elektrodernas rörelse.

4.3.4 Programmets funktionalitet

Som användare av programvaran finns det tydliga mål med hur simuleringen och utbildningen ska genomföras. Målet med simuleringen är att lokalisera och svetsa ett flertal slumpmässigt utsatta svetspunkter som presenterar sig i olika färger på en fixerad plåt. För att korrekt utföra detta måste användaren genomgå olika steg och delmoment. Dessa steg framställs som en instruktionslista nedan med 6 olika delsteg.

1. Simuleringen inleds med att användaren får möjlighet att lokalisera sig tillsammans med attrappen i den virtuella världen för att skapa en inledande känsla av avståndsbedömning i förhållande till attrappen.
2. När användaren känner sig bekant med sin omgivning och attrappen, påbörjas processen med att identifiera de svetspunkter som presenteras på plåtens yta. När dessa är identifierade påbörjas svetsprocessen genom att föra svetstångens översta elektrod mot plåten och svetspunktens yta.
3. Användaren stänger svetstången genom att klicka på den vänstra delen av touchpaden och dess position fixeras på plåten. När tången väl är fixerad kan svetsning utföras genom att trycka på triggern. Då får operatören en haptisk feedback i handkontrollen i form av en vibration och en animering av svetsstänk initieras.
4. Befinner sig tångens elektroder innanför svetspunktens toleransområde vid genomförd svetsning övergår dessa till en grön färg för att indikera korrekt svetsning. Om tångens elektroder befinner sig utanför punkternas toleransområde så kommer punkten fortfarande vara röd.
5. Slutgiltigen öppnar användaren tången för att frigöra den från plåtens yta och möjliggöra för vidare rörelse och positionering till nästkommande svetspunkt. Detta görs genom att trycka på den högra delen av touchpaden.
6. Hela processen upprepas tills dess att alla svetspunkter är korrekt svetsade.

Denna process visualiseras i en sammanfogad bild tagen från den framställda simulationen nedan, se figur 4.8. Bilderna visar steg 2 till vänster och en korrekt svetsning i steg 4 till höger från instruktionslistan ovanför.



Figur 4.8: Två steg av en simuleringsprocess för punktsvetsning i Unity.

För att skapa en interaktion mellan den fysiska attrappen och den visualiserade punktsvetsen i simuleringen används ett *parent/child* förhållande mellan den fixerade HTC Vive-kontrollen och den CAD-fil av punktsvetsen som används i den virtuella miljön. Detta innebär att CAD-filen följer och efterliknar kontrollens fysiska rotation och rörelse.

För att undvika svetstångens möjlighet att röra sig genom objekt såsom fixtur, plåt och kran används så kallade *colliders*. Dessa genererar värden beroende på om dem känner av en kollision eller inte. Värdena används senare i ett C#-script för att bryta det parent/child förhållande som finns mellan attrappen och svetstången då en kollision sker. Detta gör att svetstången inte kan röra sig igenom objekt utan istället fryser sin position då en kollision inträffar. Objekten erhåller på det sättet fysiska egenskaper i den virtuella miljön men ger ingen haptisk feedback till användaren.

Parent/child förhållandet i kombination med *colliders* skapar en verklighetstrogen relation mellan attrapp och svetstång med snabb och precis respons. Nedan visas en bild som illustrerar samspelet mellan attrapp och den utformade simuleringen, se figur 4.9.

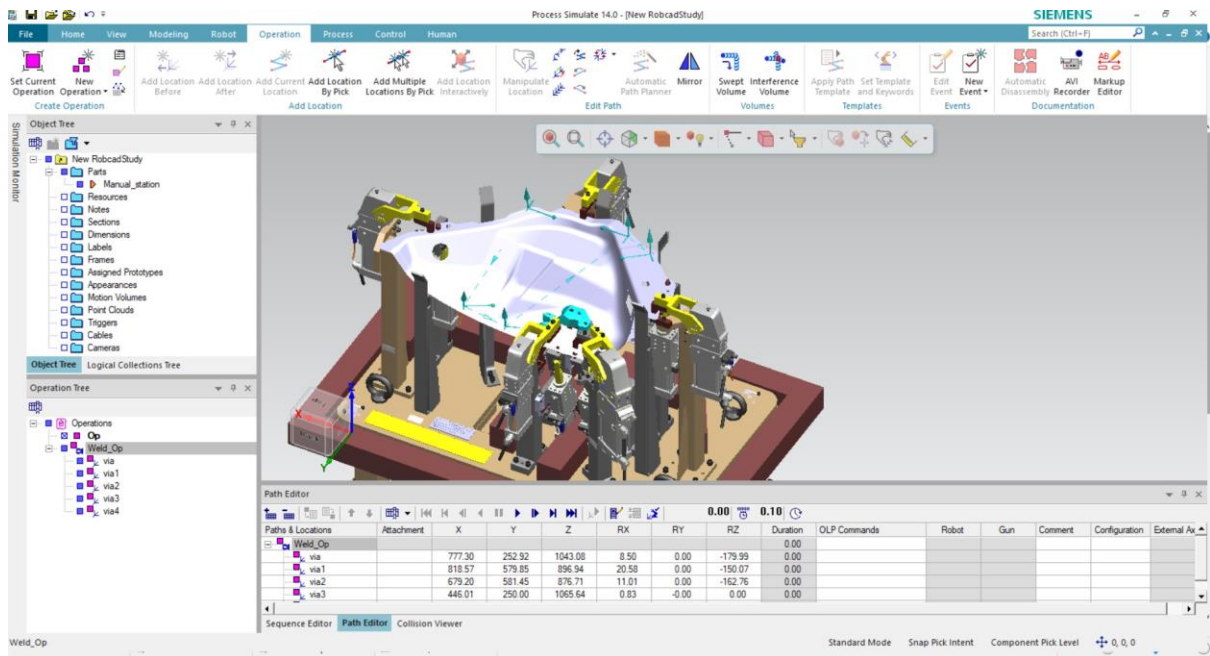


Figur 4.9: Demonstration av svetssimulering med tillhörande attrapp. *Egen bild.*

För att möjliggöra rotation av den kran som används i simulering, avläses svetstångens position och en beräkning utförs för att beräkna dess vinkel från kranens origo. Därefter manipuleras och uppdateras kranens rotation i Y-led för att ständigt förbli roterad i riktning mot svetstången.

4.3.5 Svetspunkters funktionalitet

Under beredningsprocessen definieras svetspunkternas position utav en beredningsingenjör i ett PLM-system. Data angående punkternas positionering i XYZ-led samt rotation i XYZ-led sparas och presenteras i en tabell, se figur 4.10.



Figur 4.10: Beredning av manuell svetsprocess i Process Simulate.

Datan går sedan att tillgå i en CSV-fil, vilket öppnar upp för enkel behandling och vidare import till externa system. Genom att använda ett script i Unity kan sedan CSV-filens innehåll avläsas i simuleringen. Positionerna till varje enskild punkt kan då avläsas och sparas ner. Informationen kan anropas för att uppdatera punkternas position varje gång programmet initieras. Detta innebär att en automatiserad uppdatering av svetspunkternas position vore möjlig.

Resultatet av detta gör att utbildningsmaterialet som presenteras i simulationen kan uppdateras inom ett tidsspänn på några sekunder. En ny produkt eller nya svetsinstruktioner skulle kunna presenteras i VR-simulatorn omgående via en CSV-import utan att förändringar i kod eller programstruktur är behövlig.

4.4 Resultat av validering

De resultat som visade sig efter det första användartestet visade på en del möjliga förbättringsområden. Då många av de medverkande aldrig använt sig utav VR innan och var inte heller bekanta med HTC Vives kontroller, uppkom efterfrågan på en tutorial eller tydligare instruktioner. Detta för att förbereda användaren på simuleringens mål och tillvägagångssätt. Diskussioner kring simuleringsmiljön uppkom och synpunkter huruvida den avspeglade verkligheten på bästa sätt framkom. Förslag på att implementera väggar för att avgränsa spelytan och synfältet uppkom. Att lägga till ljud och förändra texturer och skuggor för att ge en bättre och mer realistisk visuell upplevelse, var också förslag som dök upp under diskussionerna. I övrigt ansåg de medverkande att deras bakgrund och erfarenhet inte var tillräckligt relevant för att uttrycka sig angående svetsprocessen och funktionalitet

kring svetsning. Därav förblev fokus under diskussionerna riktade mot användarvänligheten och den visuella upplevelsen.

Inför den andra demonstrationen, under invigningen av SII-labbet, hade en del förbättringar på simuleringen gjorts med utgångspunkt från de frågor som väcktes under föregående test. Dessa var exempelvis tillagda väggar och borttagna skuggor. Dessutom hölls en tydligare instruktionspresentation före testerna där kontrollernas funktioner och som simuleringens syfte förklarades. Detta resulterade i att deltagarna inte uppfattade otydlighet till samma utsträckning angående simuleringens tillvägagångssätt. Istället uppkom mestadels positiva kommentarer angående det moderna sättet att använda en punktsvets. Kommentarererna syftade mer på själva VR-funktionaliteten snarare än syftet med simuleringen.

Användarstudien på Volvo Cars Pilot Plant var den testning som på förhand ansågs som huvudsakligt valideringsunderlag. Deltagarna hade kompletterande kunskaper inom arbetsområdet, där Per Gregenäs har stor erfarenhet inom svetsning och Bengt Helamb samt Anders Alexandersson arbetar med beredning och ergonomi runt svetsprocessen.

Under besöket på Pilot Plant fick alla tre deltagarna möjlighet att testa simuleringen för att därefter diskutera åsikter och förslag kring simuleringen. Respondenterna svarade även på de förberedda frågor som var medtagna till testningen. Frågeställningen med respondenternas svar redovisas i bilaga C. En bild av när Per Gregenäs testar simulationen presenteras nedan, se figur 4.11.



Figur 4.11: Användarstudie på Volvo Cars Pilot Plant med Per Gregenäs till vänster och Bengt Helamb till höger. *Egen bild.*

Utöver kommentarerna från intervjustudien diskuterades även återigen skillnaden på arbetssätt mellan manuellt svetsarbete på Pilot Plant och manuellt svetsarbete i andra avdelningar. Per Gredenäs berättade att eftersom plåtarna kan ha varierande flänskanter kan det vara lönsamt att arbeta i par för att säkerställa god kvalitet. Dessutom kan det vara svårt att hålla en god ergonomi under en hel svetsprocess om en arbetar ensam. Dessa är några av anledningarna till att svetsoperationer på Volvo Cars Pilot Plant mestadels sker av operatörer som arbetar i par.

5. DISKUSSION

I detta avsnitt framläggs en diskussion mellan metoden och resultatet samt dess utmaningar och förutsättningar.

5.1 Metoddiskussion

En preliminär tidsplan utformades inledningsvis i projektet, där aktiviteter och milstolpar definierades, se bilaga D. Eftersom ingen av projektmedlemmarna hade märkbara kunskaper inom programmering inför projektet, togs detta i hänsyn till under utförandet av tidsplanen. Att lära sig grunderna i C#-programmering, Unity och förstå sig på VR överlag ansågs därför vara mest tidskrävande och planerades därefter. Utmaningarna med programmeringen var större än väntat vilket resulterade i att mer tid fick gå åt till att förstå och lära sig C#-programmering. Den främsta inläringen kom från att läsa kommentarer från olika programmeringsforum, samt genom att undersöka och följa demonstrations och instruktionsvideos från Youtube.

Besöken på Volvo Cars Pilot Plant var ypperliga tillfällen för att få baskunskaper om svetsprocessen och hur svetsverktygen bör hanteras. Detta öppnade även upp för en intervjustudie som tillsammans med kompletterande litteraturstudier utgjorde förstudien som låg i grund till projektet. Vid svetsstationerna på Pilot Plant var det inte tillåtet att filma eller ta några bilder, vilket var förståeligt. Att dokumentera arbetsplatsen genom bilder och filmer skulle vara fördelaktigt för att kartlägga svetsprocessen mer noggrant och exakt. Det skulle även kunnat förhindra utrymmet för missuppfattningar som kan ha inträffat då en del otydligheter uppstått.

I mitten av projektet hölls även en *Mid Term Presentation* på Virtual Manufacturing's huvudkontor i Gårda. Detta var ett tillfälle då alla examensarbetare som hade möjlighet att närvara, redovisade vad de hittills åstadkommit med projektet. Medlemmar turades om att redovisa och berätta om hur långt de kommit och vad som fanns kvar att göra. Här närvarade många av de anställda på kontoret, såsom handledare och andra från företaget med generella intressen i projekten. Detta var ett bra tillfälle att stämma av med handledare likväl att få inslag av andra anställda som kunde komma med råd och liknande. Här väcktes bland annat tanken på att införa en koppling mellan Process Simulate och VR-applikationen, gällande svetspunkternas positionsdata.

Under projektets arbetsgång fanns en ständig fundering om hur simulationen skulle verifieras och valideras. Beslutet togs att validera projektet utifrån feedback och respons från de demonstrationer som hölls. På så sätt erhöles information om hur personer utan svetskunskap och utan erfarenhet i VR uppfattade simuleringen. Detta kompletterades med en testning på Volvo Cars Pilot Plant där en erfaren svetsare, tillsammans med två svetsberedare fick testa simuleringen. På så sätt erhöles värden från olika målgrupper, vilket ansågs vara tillräcklig information för att dra slutsats utifrån.

5.2 Resultatdiskussion

Trots den omfattande tidsåtgången som lades på att förstå och lära sig programmeringen, uppstod en del problem som begränsade simuleringen. Detta var exempelvis problem med fysiken hos en del objekt, vilket gjorde att svetstången i vissa lägen kunde röra sig genom fixturen och plåten. Oftast var det då man förde tången med snabb hastighet genom ett objekt som denna problematik uppstod. På grund av tidsbegränsningar beslutades det att inte lägga alltför mycket tid på denna komplikation, då en sådan snabb rörelse ansågs vara onaturlig och sällan inträffade i simuleringen. Andra problem som erhöles med programmeringen var importerandet av CSV-filer till Unity. Detta var en fråga som dök upp halvvägs i projektet, vilket gjorde att frågeställningen inte kunde bearbetas lika grundligt som andra problem. Med hjälp av ett script som hade tagits fram under uppbackning från projektets handledare, Liang Gong, kunde CSV-filer importeras till Unity och läsas av. Projektmedlemmarna fann inte tid att undersöka frågan ytterligare.

Den utformade attrappen var från början tänkt att utgöra en första-prototyp i en konceptgenerering. Där skulle prototypen bearbetas och utvärderas för att sedan förbättras till en mer lämplig attrapp i nästa steg av konceptgenereringen. Därefter skulle metodiken för framtagningen av en attrapp åter genomföras, tills dess att projektmedlemmarna kände sig nöjda med konstruktionen. Vad som noterades under de första demonstrationerna av simuleringen, var att den första-prototypen fungerade väl och gav en god känsla till användaren. Det beslutades då att inte arbeta vidare med attrappen i detta projekt.

Den noterbara skillnaden från de olika tillfällena för valideringen var att de två första demonstrationerna genomfördes av personer utan svetsbakgrund eller erfarenhet inom VR. Demonstrationen på Volvo Cars Pilot Plant genomfördes av personer med svetsbakgrund och där även en person hade erfarenhet inom VR. Vad som noterades under denna demonstration var att Per Gregenäs förstod kontrollerna relativt snabbt och fattade även tag i attrappen på rätt sätt från början. Under de tidigare demonstrationerna var det många som hade det svårt med just detta, vilket kan tolkas som att P. Gregenäs som erfaren svetsare hade det enklare att förstå funktionaliteten än andra. Detta kan stärka rapportens slutsats då en erfaren svetsare finner det enklare att genomföra simuleringen.

Under de två första demonstrationerna noterades även att användarna hade det enklare att förstå funktionerna och syftet med simuleringen allt eftersom simuleringen fortskred. Vi lät även en del personer testa simuleringen flera gånger, vilket gjorde det tydligt att se att de blev bättre i de ytterligare försöken. Detta kan tyda på att användarna får mer förståelse för simuleringens funktioner under tiden som de lär sig hantera verktyget. Skulle attrappen och simuleringen vara tillräckligt lik den reella punktsvetsningsmiljö som finns i en arbetsstation, finns möjligheter för att till en viss del använda VR i utbildningssyfte. Applikationen kan anses vara god för att skapa ett intryck om vad som ska göras i en punktsvetsningsoperation. Likväl ger det användaren en första känsla om hur verktyget ska hanteras.

6. SLUTSATS OCH REKOMMENDATIONER

Teknologin runt AR och VR befinner sig i ett fortfarande tidigt stadiet i utvecklingen. Under de senaste åren har användandet av både AR och VR ökat markant och går idag att igenkännas i allt från applikationer för smartphones till simuleringar för forskning. Teknikens efterfrågan i industrin börjar även etableras och företag börjar i mer utsträckning investera och testa tekniken inom diverse olika arbetsområden. Många anser att tekniken, med dess potential och användbarhet, kommer ha en betydande roll i framtidens teknikutveckling. Företag vill därför ligga i framkant med teknologin tills dess att tekniken är tillräckligt mogen för marknaden och industrin.

Arbetet visar på att tekniken för VR är tillräckligt mogen för att användas i utbildningssyfte. Utvecklingen i Unity fungerar väl som simuleringsplattform med möjligheter att skapa och ge attribut till objekt. Den utformade simuleringen från Unity presenteras genom HTC Vives HMD-system. Strukturen är fortfarande relativt stor och otymplig med tjocka sladdar från HMD-systemet och med robusta kontroller. På marknaden finns flera olika VR-system med varierande kvalitetsdrag och egenskaper. Formen och storleken för de flesta VR glasögonen är till huvuddel densamma. Att systemet skulle bli mindre och smidigare vore en stor fördel i dess tillämpbarhet och användbarhet.

I projektet undersöks huruvida VR är en lämplig metod att använda i utbildningssyfte för ett manuellt punktsvetsarbete. Frågeställningen avser undersökningar i om det är *möjligt* att flytta och *ersätta* den befintliga upplärningsmiljön till en virtuell miljö och samtidigt förbättra kvalitet, ramp up tid och ergonomi. Arbetet har visat på att VR-tekniken är tillräckligt mogen och att det är möjligt att flytta en manuell punktsvetsstation in till en virtuell miljö. Metoden bör inte ersätta den befintliga upplärningsmiljön, utan bör istället användas med syfte att erbjuda operatören en inledande känsla om hur processen ska genomföras. Den konstruerade applikationen är inte tillräckligt omfattande för att ersätta befintlig svetsupplärning. Att skapa en fullständig simulation att användas till samma syfte vore fullt möjligt och hade även kunnat komplettera utbildningsprocessen ytterligare. Med en attrapp som är identiskt konstruerad utav en svetstång med inkluderande Spring Balancer och kran, skulle utbildningen kunna vara en bättre motsvarighet av operatörsarbetet i den reella stationen. Genom att använda en enkel attrapp med låg vikt blir applikationen mer lättillgänglig.

Eftersom VR kan användas i utbildningssyfte, skulle det även kunna förkorta ramp up tid och samtidigt förbättra kvalitet för en svetsprocess. Operatörer skulle kunna träna på produkter som ännu inte finns tillgängliga i fabriken, vilket skulle förkorta tiden för ramp up. Detta skulle även kunna vara fördelaktigt ur en ergonomisk aspekt. Genom att applicera system i simuleringen som visar på godkända lägen för hur operatören bör hålla svetstången för vissa punkter, skulle ergonomin kunna förbättras. På samma sätt skulle kvaliteten kunna förbättras, då systemet skulle kunna visa vilka vinklar svetstången bör fästas på en punkt.

För vidare arbete och utveckling av projektet rekommenderas justeringar och omarbetningar av olika delar att göras utifrån sådant som under projektets gång uppenbarats som bristande eller otillräckliga. Efter att ha reflekterat över projektet och utvecklingsgången ansåg projektgruppen att följande sammandrag bör justeras till vidare undersökningar för ett mer utförligt svar på möjligheterna att använda VR som utbildningsplattform.

För att på ett tillförlitligt sätt kunna använda VR som utbildningsplattform, bör dels attrapp och applikation efterlikna verkligheten till nästintill identiska omständigheter. En utmaning under projektets gång har varit att skapa en tillräckligt realistisk känsla under användandet av simuleringen för att erfarenheten förskaffad under simuleringen ska kunna översättas till ett verkligt scenario. Därmed rekommenderas det för vidare studier att använda en identisk punktsvets istället för en attrapp i simuleringen. Eventuellt att attrappen utrustas med gyro eller motvikter. Detta skulle ge en bättre och mer realistisk känsla av tyngd, tröghet och otymplighet som annars är svår att uppnå. Likaså rekommenderas användandet av någon form av en fysisk yta för att simulera fixtur och arbetsstycke. Detta för att ge en fysisk feedback och känsla av att man befinner sig med elektroderna på plåten innan svetsning påbörjas. I övrigt bör programmering ses över för att få mer verklighetstroga omständigheter vad gäller kollisioner och fysik i simuleringen.

För att kunna validera resultatet och svara på frågeställningarna med högre noggrannhet rekommenderas även en utförligare valideringsprocess. Ett förslag på en sådan skulle kunna vara att låta två montörer som saknar erfarenhet av punktsvetsning få genomgå två olika utbildningar. Där den ena får genomgå den traditionella lärlingsbaserade upplärningen medan den andra utbildas via VR-plattformen. Resultatet av de två skulle sedan kunna vägas mot varandra för att avläsa skillnader i utvecklingskurva och dra slutsatser om potentialen inom VR-tekniken.

KÄLLFÖRTECKNING

Rapport:

- [1] Thulin, A. (2008). *Punktsvetsning i höghållfast stål* (Master's thesis). Luleå: Institutionen för Tillämpad fysik, matematik och materialvetenskap, Luleå tekniska universitet.
URL: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1025530/FULLTEXT01.pdf>

Internetkälla:

- [2] Svetskommisionen. (2014). *Punktsvetsning*. Hämtad: 2018-03-05
URL: <http://www.svets.se/kunskapsbanken/tekniskinfo/svetsning/metoder/punktsvetsning.4.38a2e557141001d64753c5f.html>

Bok:

- [3] Robert, W, & Messler, J. (2004). *Principles of welding*. Tyskland: Wiley-VCH.

Internetkälla:

- [4] Siemens. (u.å). *Use assembly simulation for virtual verification of all the process details*. Hämtad: 2018-03-28
URL: <https://www.plm.automation.siemens.com/en/products/tecnomatix/manufacturing-simulation/assembly/process-simulate.shtml>

Internetkälla:

- [5] ARO Technologies. (u.å). *ARO Technologies Overview*. Hämtad: 2018-03-15
URL: <http://www.arotechnologies.com/sv-SE>

Produktkatalog:

- [6] ARO Technologies. (u.å). *Manual Welding* [Produktblad]. Hämtad: 2018-03-15
URL: <http://www.arotechnologies.com/en-GB/documents/743/aro-manual-welding-en.pdf>

Föreläsning:

- [7] Anderdahl, A. (2015). *Svetsning, en översikt över svetstekniken*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola

Rapport:

- [8] Nilsson, K. (2002). *Upplärning av industriarbetare* (Master's thesis). Lund: Pedagogiska institutionen. Lunds universitet.
URL: <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=1356840&fileId=1356841>

Internetkälla:

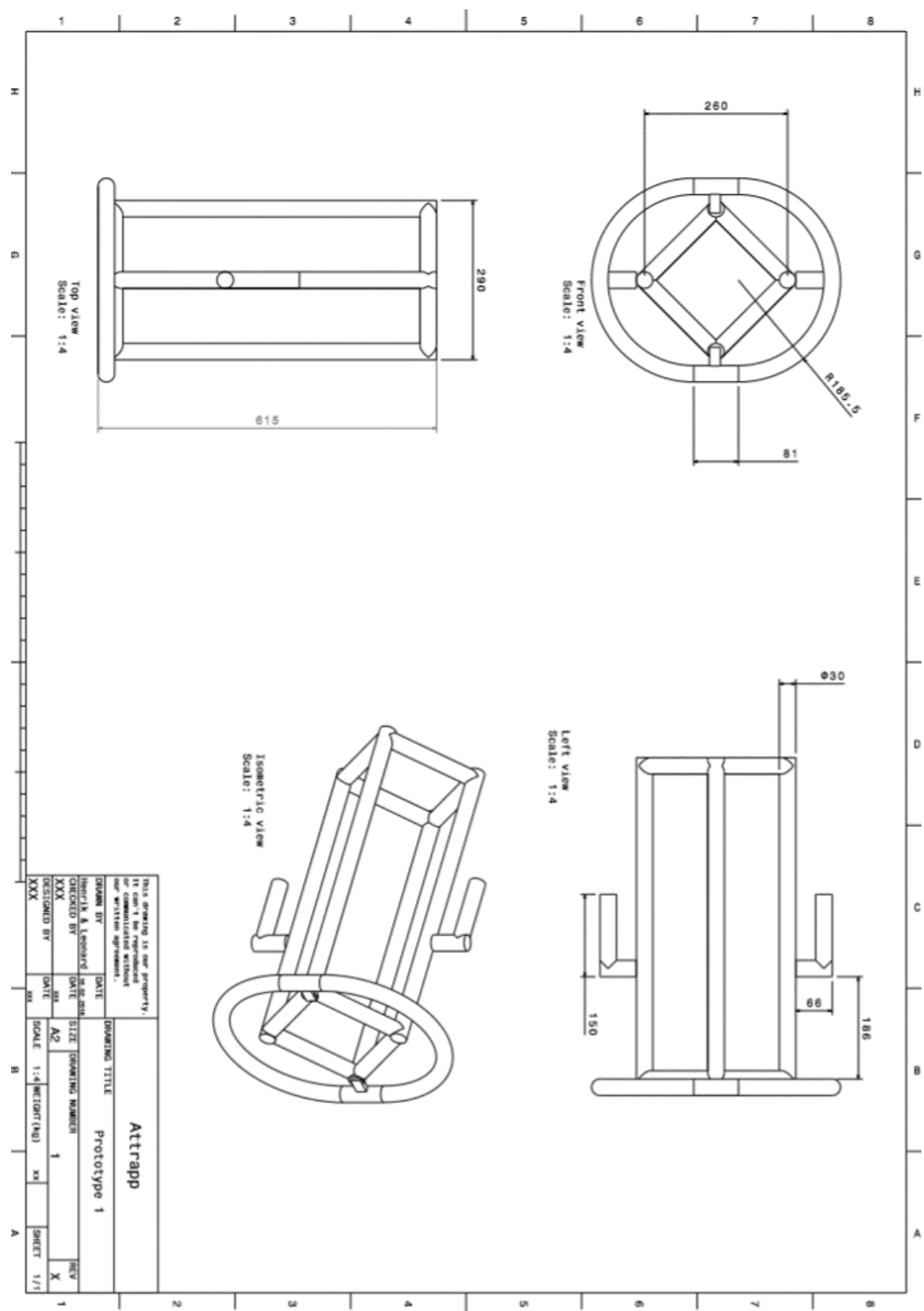
- [9] Siemens. (u.å). *Teamcenter*. Hämtad: 2018-03-28
URL: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/teamcenter/>

- Internetkälla:
- [10] Siemens. (u.å). *Tecnomatix*. Hämtad: 2018-03-28
URL: https://www.plm.automation.siemens.com/en/products/tecnomatix/manufacturing-simulation/robotics/process-simulate.shtml#lightview%26url=/en_us/Images/7457_tcm1023-80351.pdf%26title=Process%20Simulate%26description=Process%20Simulate%20Fact%20Sheet%26docType=pdf
- Digital tidsskrift:
- [11] Charara, S. (2017, december). *How does VR actually work?*. Wareable.
Hämtad: 2018-04-16. URL: <https://www.wareable.com/vr/how-does-vr-work-explained>
- Internetkälla:
- [12] Virtual Reality Society. (2017). *Head-mounted Displays*. Hämtad: 2018-04-15
URL: <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-gear/head-mounted-displays/>
- Internetkälla:
- [13] The Franklin Institute. (u.å). *History of Virtual Reality*. Hämtad 2018-04-16
URL: <https://www.fi.edu/virtual-reality/history-of-virtual-reality>
- Digital tidsskrift:
- [14] Evenden, I. (2016, mars). *The history of virtual reality*. Science Focus.
Hämtad: 2018-04-15. URL: <http://www.sciencefocus.com/article/history-of-virtual-reality>
- Internetkälla:
- [15] AM System. (u.å). *Så förändrar aktuella teknologier industrin*. Hämtad: 2018-04-10
URL: <https://amsystem.com/sv/story/sa-forandrar-aktuella-teknologier-industrin>
- Internetkälla:
- [16] ABB. (u.å). *VR-programmering är det nya paradigmskiftet*. Hämtad: 2018-03-20
URL: <http://new.abb.com/se/om-abb/aktuell-lasning/fran-vr-till-verklighet>
- Digital tidsskrift:
- [17] Flink, C. (2017, oktober). *VR Training Next Generation of Workers*. Forbes
Hämtad: 2018-03-24. URL: <https://www.forbes.com/sites/charliefink/2017/10/30/vr-training-next-generation-of-workers/#49389abc64f5>
- Internetkälla:
- [18] HTC. (u.å). *VIVE*. Hämtad: 2018-04-08
URL: <https://www.vive.com/us/product/vive-virtual-reality-system/>
- Internetkälla:
- [19] HTC. (u.å). *Vive Controller*. Hämtad: 2018-04-08
URL: <https://www.vive.com/us/accessory/controller/>
- Artikel:
- [20] Fast-Berglund, Å., Gong, L., Li, D. (2018). *Testing and validation Extended Reality (xR) technologies in manufacturing*. Sverige: Elsevier B.V.

- Internetkälla:
- [21] Unity 3D. (u.å). *The leading global game industry software*. Hämtad: 2018-04-08
URL: <https://unity3d.com/public-relations>
- Internetkälla:
- [22] Unity 3D. (u.å). *Coding in Unity for Beginners*. Hämtad: 2018-03-16
URL: <https://unity3d.com/learn/tutorials/topics/scripting/coding-unity-absolute-beginner>
- Internetkälla:
- [23] Steam. (u.å). *Steam VR*. Hämtad: 2018-03-16
URL: <https://steamcommunity.com/steamvr>
- Internetkälla:
- [24] Zachariou, A. (2017-06-16). *HTC Vive MR camera rig V2*. Hämtad: 2018-03-01
URL: <https://www.myminifactory.com/object/3d-print-htc-vive-mr-camera-rig-v2-38169>

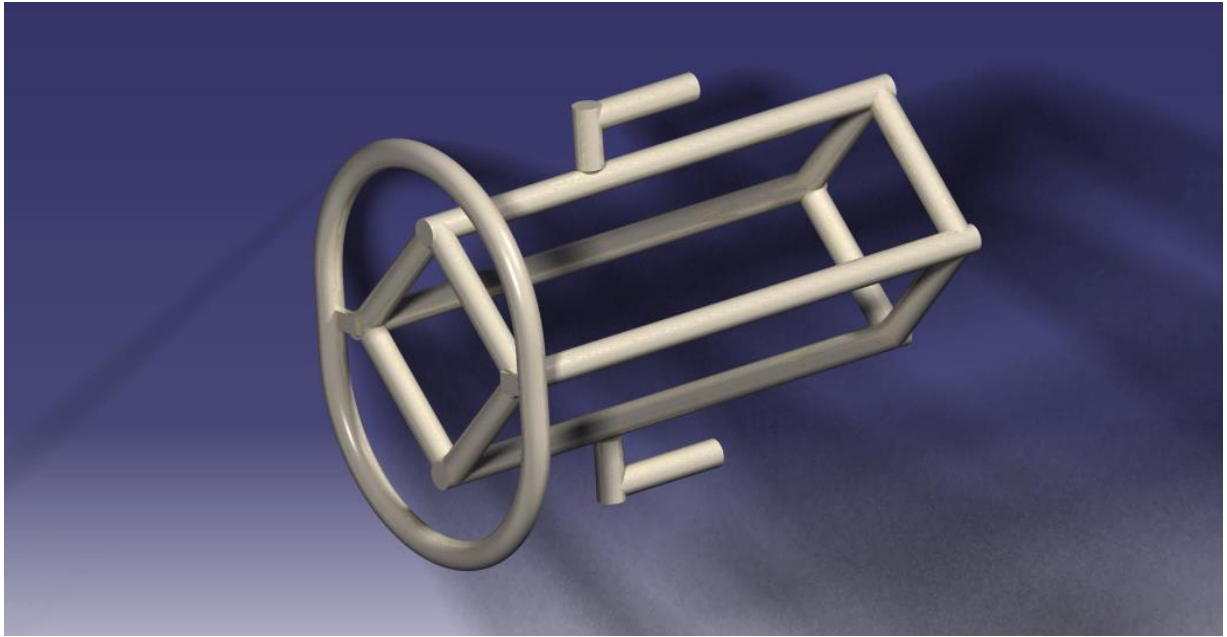
BILAGOR

Bilaga A



Bilaga A: Ritning av attrapp, gjord i Catia.

Bilaga B



Bilaga B: Rendering av attrapp, gjord i Catia.

Bilaga C

A: Anders Alexandersson

B: Bengt Helamb

P: Per Gredenäs

1. Hur känns attrappen med dess tyngd, storlek och förhållande till punktsvetsen?

P: Saknar trögheten och motståndet i svetsen.

B: Lite bitar återstår att arbeta vidare med, som till exempel göra det främre handtaget mer likt det verkliga handtaget som finns på en svetstång. Det bästa hade varit om man haft en riktig tång men bytt ut handtagen HTC VIVE-kontroller som handtag.

2. Hur känns svetsprocessen i simuleringen (knappar och funktionalitet)?

P: Saknar öppningsslaget mellan svetsläge och arbetsläge**. Dessutom kan ni minska toleransen mellan tången och en godkänd punkt till 5 mm.*

3. Vad ser ni för styrkor och svagheter med simuleringen?

P: Saknar fysisk feedback, till exempel en vibration eller något som tar emot när man stöter i tången i plåten.

B: När man krockar med fixturen borde den lysa rött eller liknande för att indikera otillåten kontakt. Sen hade man kunnat ha att tången "hoppas" till rätt plats när man är nära för att visa på hur punkten ska svetsas.

4. Hur ser ni på ergonomi (hållning i VR kontra i verklig miljö)?

B: Tror mer på att använda detta med hänsyn till ergonomi och även beredning snarare än utbildning. Då kan man se svetsåtkomst samtidigt som du kan se vilka vinklar som är okej. En okej vinkel ska till exempel ge grönt ljus.

5. Ser ni VR som ett potentiellt verktyg till upplärning för denna process?

P: Mer i beredningssyfte i så fall. Bättre att lära sig i en fysisk miljö med reella verktyg.

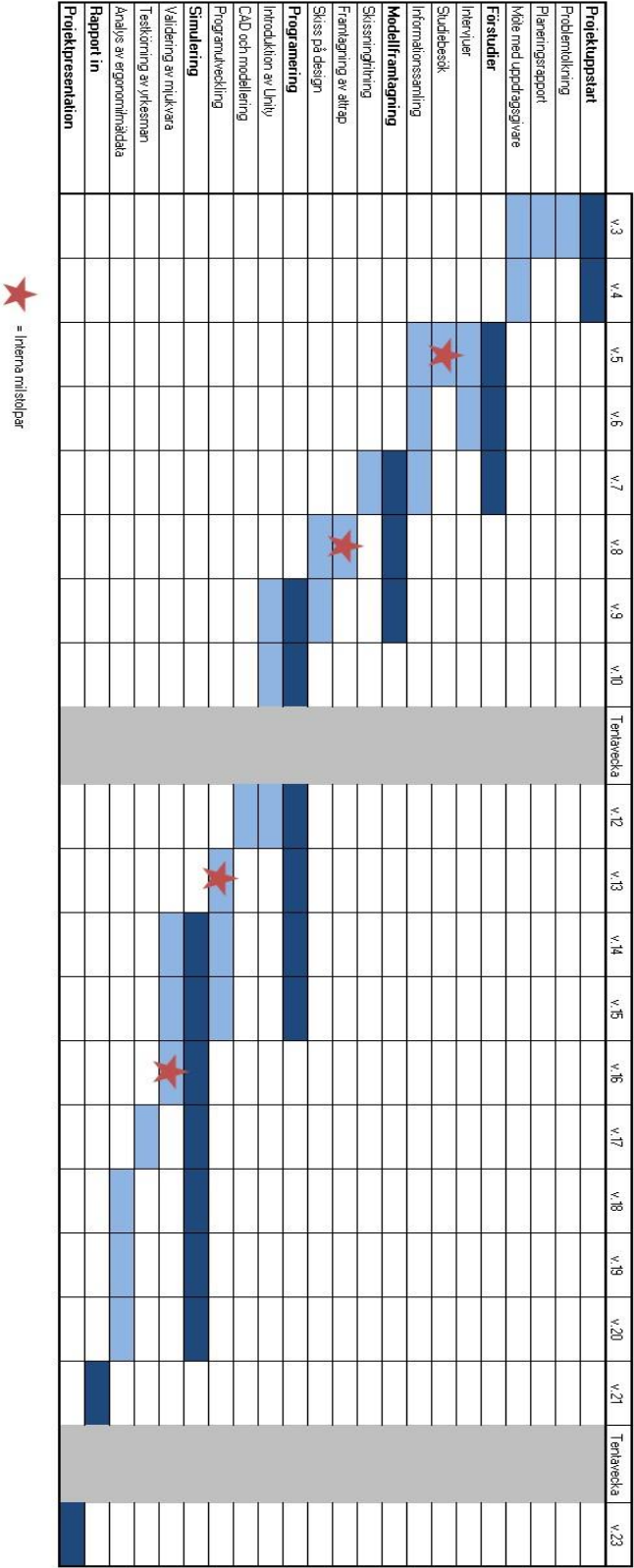
A: Tror det kan vara bra för förstagångsanvändare att skapa en känsla och få förståelse om hur man ska hantera verktyget.

B: Upplärningstillfällen finns redan där svetsare får lära sig att svetsningsprocessen genom att gå runt och testa svetsarna på flera detaljer och öppna/stänga tången.

* läge imman svetsning (P. Gredenäs)

** ett läge efter svetsning så öppnas tången med ett avstånd på ca 30 mm mellan elektroderna och går på så sätt att flytta när tången är "stängd". (P. Gredenäs)

Bilaga D



Bilaga D: Framtagen preliminär tidsplanering i form av Gantt-schema, togs fram i början av projektet.