



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

SPOT WELDING WITH AUGMENTED REALITY



**UTVÄRDERING AV AUGMENTED REALITY SOM KOGNITIVT
STÖD VID MANUELL PUNKTSVETSNING**

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

**AXEL CULLBERG
KEVIN WICKBERG**

EXAMENSARBETE IMXS20

Spot Welding With Augmented Reality

Utvärdering av Augmented Reality som kognitivt stöd vid manuell
punktsvetsning

*Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet
Maskinteknik*

Axel Cullberg
Kevin Wickberg

Institutionen för Industri- och Materialvetenskap
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2018

Spot Welding With Augmented Reality

Utvärdering av Augmented Reality som kognitivt stöd vid manuell punktsvetsning

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Maskinteknik

Axel Cullberg

Kevin Wickberg

© Axel Cullberg & Kevin Wickberg, 2018

Institutionen för Industri- och Materialvetenskap

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

En person som använder funktionen ”Air Tap” med Microsoft HoloLens

Institutionen för Industri- och Materialvetenskap

Göteborg 2018

Spot Welding with Augmented Reality

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

AXEL CULLBERG
KEVIN WICKBERG

Department of Industry and Material science
Chalmers University of Technology

Abstract

Industri 4.0 builds upon the digitalization evolution industries have gone through the last years. This thesis explores the possibility to incorporate AR into manual spot welding operations using Microsoft HoloLens. The ability to implement instructions and other cognitive support functionality during the manual spot welding process can simplify education and save precious time, which could contribute to a more efficient factory.

Using the game engine Unity, an application that visualizes a welding sequence through holograms was developed. With the built-in Vuforia support, image targets were created for positioning holograms so that they appear in the same area multiple times. C#-programming was required to create the sequence. By using Unity's built-in GameObject functionality, positions in the digital space could be defined, and with it each step of the sequence could be displayed in the correct order. A text in the field of view informs the user in real-time how many spots have been confirmed. By utilizing Microsoft's MixedRealityToolkit, the HoloLens-units own communication functionality was implemented into the program for the user to be able to control the sequence. During the project's verification, the test-participants experienced that the instructions were easy to understand and the welding sequence was easy to learn.

Sammandrag

Industri 4.0 bygger på den digitalisering som industrier har genomgått de senaste åren. Denna uppsats utforskar möjligheten att införa AR i manuella punktsvetsningsoperationer med hjälp av Microsoft HoloLens. Förmågan att implementera instruktioner och andra kognitiva stödfunktioner under den manuella punktsvetsningsprocessen kan förenkla utbildning och spara dyrbar tid, vilket potentiellt skulle kunna bidra till en fabrik med högre nyttjandegrad.

Med hjälp av spelmotorn Unity utvecklades en applikation som visualiserar en manuell punktsvetssekvens via hologram. Med det inbyggda Vuforia-stödet skapades Image Targets för att placera hologram i samma område flera gånger om. C#-programmering krävdes för att skapa sekvensen. Genom att använda Unitys inbyggda spelobjekt kunde positioner definieras i det digitala rummet och därmed kunde varje steg av sekvensen visas upp i korrekt ordningsföljd. En text i blickfånget berättar för användaren i realtid hur många svetspunkter som bekräftats. Med hjälp av Microsofts MixedRealityToolKit implementerades HoloLens-enhetens egna kommunikationsfunktion "Air Tap" i programmet för att styra sekvensen. I projektets verifikation upplevde testpersonerna att de digitala instruktionerna var lättförståeliga och förenklade inläringen av svetssekvensen.

Förord

Detta examensarbete har utförts på Chalmers Tekniska Högskola på uppdrag av företaget Virtual Manufacturing. Examensarbetet är skrivet på institutionen för Industri- och Materialvetenskap (IMS) och är det avslutande momentet på högskoleingenjörsutbildningen Maskinteknik som omfattar 180HP.

Undertecknade vill först rikta tack till Kåre Folkesson, ansvarig för affärsutveckling inom försäljning och vår uppdragsgivare på Virtual Manufacturing, för möjligheten att jobba inom ett så nytt och spännande område. Tack vill även riktas till alla medarbetare på Virtual Manufacturing för en lärorik vårtermin samt kontakterna på Volvo Cars.

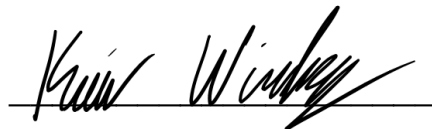
Volvo Cars gav oss ett personligt studiebesök och visade oss hur punktsvetsning går till i praktiken och för detta vill vi tacka Martin Rees, avdelningschef för karossberedning, Anders Alexandersson, Manufacturing Engineer, och Per Gredenäs, avdelningschef på Pilot Plant.

Vi vill även tacka våra kontakter på Chalmers SII-laboratoriet för stöttning med utveckling och tillgång till material. Främst till vår handledare Liang Gong för tålamod och hjälp i utvecklingsarbetet, Sven Ekered, forskningsledare, och Åsa Fasth Berglund, Docent på avdelningen för Production Systems och vår examinator.

Avslutningsvis vill vi tacka våra vänner och samarbetspartners Leonard Bogojevic och Henrik Söderlund.



Axel Cullberg



Kevin Wickberg

Ordlista

- Air Tap - Att nypa med tumme och pekfinger framför HoloLens-enheten
- AR/Augmented Reality - Förstärkt verklighet
- Build - Konverteringen av källfiler till exekverbara filer
- Children - Ett objekt placerat under ett annat i programhierarkin
- Crowdfunding - Publik finansiering
- C# - Programmeringsspråk C-Sharp
- Hologram - Ett virtuellt objekt projicerat i det fysiska rummet
- Image Target - Målbild
- Mockup - Realistisk icke-funktionell slutbild
- On-line - På produktionslinan
- QR-kod - En bild som översätts till digital information genom en läsare
- Prefab - Förpacketerade objekt i Unity
- Punktsvetsning - Svetsmetod som används för att sammankoppla plåtar
- Resistance Spot Welding - Se punktsvetsning
- Tracker - Spårningsenhet
- Unity - En spelmotor/editor
- Visual Studio - En utvecklingsmiljö skapad av Microsoft
- VR/Virtual Reality - Virtuell verklighet
- Vuuforia - En bildigenkänningsjänst
- Extended Reality (xR) – Utökad verklighet

Innehållsförteckning

1. INTRODUKTION	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Frågeställning	2
1.5 Rapportens disposition	2
2. TEORETISK REFERENSRAM	3
2.1 Manuell punktsvetsning	3
2.2 Industri 4.0	4
2.3 Augmented Reality	5
2.4 Microsoft HoloLens	6
2.5 Andra AR-headset	7
2.5.1 Meta 2	7
2.5.2 Magic Leap	7
2.6 Unity	7
2.6.1 HoloToolKit	7
2.7 Vuuforia	8
2.8 Gränssnittsdesign	9
2.8.1 Gränssnittsdesign för Augmented Reality	9
2.9 Visual Studio	10
2.10 Extended Reality	10
3. METOD	11
3.1 Projektplan	11
3.2 Studiebesök	11
3.4 Utveckling	12
3.4.1 Gränssnitt	12
3.4.2 Mockup	12
3.4.4 Verifikation	12
3.5 Mid-Term Presentation	13
3.6 Workshop	13
4. RESULTAT	14
4.1 Studiebesök	14
4.2 Intervju	14
4.3 Utveckling	15
4.3.1 Gränssnitt	15

4.3.3 Unity och Vuforia	16
4.3.4 Verifikation	18
4.4 Mid-Term Presentation	19
4.5 Workshop	19
5 Diskussion	20
5.1 Metoddiskussion	20
5.2 Resultatdiskussion	20
5.2.1 Mjukvara	20
5.2.2 Hårdvara	20
5.2.3 Teknikdiskussion	21
6. SLUTSATS OCH REKOMMENDATIONER	22
Rekommendationer	23
Litteraturförteckning	24
BILAGOR	A

1. INTRODUKTION

I detta kapitel beskrivs bakgrund till projektet och de frågeställningar som ämnas utforskas.

1.1 Bakgrund

Vid tillämpningar på industriell nivå av manuella punktsvetsningsoperationer har företag haft problem med effektivitet då automatiseringsfokus har legat på de operationer där människan inte behövs (1). Detta har resulterat i att de operationer som kräver utförande av en svetsare inte har erhållit samma effektivitetslyft som övriga områden fått via ökad digitalisering. I branscher där anställda ofta byter företag är det en utmaning att behålla kompetens inom en organisation. Det kan innebära att utbildning av nyanställda behöver göras flera gånger per år för att tillgodose företagets behov av kompetens inom manuell svetsning. Utbildningen som genomförs på Volvo Cars sker på arbetsplatsen där operatören relativt omgående blir placerad på en station (se bilaga B). En förutsättning för att utbildningen skall fungera, är att de anställda tar till sig och memorerar all information som ges under utbildningstillfället. Dessutom krävs det att personen direkt kan omsätta den nya kunskapen i praktiken vilket ställer stora krav på den anställdes inlärningsförmåga. Det är också svårt för en person att minnas all information och data som förmedlas under utbildningen.

I dagens tillverkande företag utvecklas det ständigt nya produktvarianter för att behålla och öppna upp för nya marknadsandelar. Detta förutsätter en flexibel produktion som snabbt kan anpassas vilket leder till ett ökat behov att förmedla uppdaterad information till personalen som ska utföra operationerna. Som resultat behöver de anställda ständig utbildning för att erhålla kunskap om nya detaljer i produktionen (2). Om information flödar långsamt genom organisationen blir systemet ineffektivt och en förändring på konstruktionsstadiet kan ta lång tid att förverkliga i produktionen.

Många industriföretag i västvärlden använder sig i dagsläget av bemanningsföretag för sin personalförsörjning (3). I moderna företag går teknikutvecklingen snabbt vilket kräver en alltmer effektiv utbildningsprocess. Inom industrin diskuteras Augmented Reality (AR) och Virtual Reality (VR) som ett kognitivt stöd inom utbildning och för visualisering (4). En utbildning i realtid direkt i produktion riskerar att påverka produktionen negativt då den kan agera flaskhals i flödet. Fördelen med AR- och VR-teknologin är att den kan användas frikopplat från den fysiska produktionen. Den nyutbildade personens påverkan på ledtiderna minimeras, kvalitetsförlusterna beräknas bli färre och operatören kan återbesöka utbildningen vid behov. En digital utbildning ger möjlighet till ständig uppdatering av instruktioner, vilka kan förmedlas direkt till operatörerna. Det ger stöd för en mer flexibel produktion.

Enligt en konversation med Anders Alexandersson (Manufacturing Engineer, Volvo Cars, 14:e februari 2018) är inslaget av manuell punktsvetsning i produktionsprocessen varierande beroende på geografisk marknad. I Asien dominerar manuell svetsning till skillnad från i västvärlden. Detta beror på en lägre arbetskraftskostnad vilket gör manuella svetsoperationer mer lönsamma än dess automatiserade och robotbaserade alternativ. Därmed anses Asien vara huvudmarknaden för implementering av tekniken (se bilaga B).

1.2 Syfte

Projektgruppen avser utveckla en AR-plattform för manuella punktsvetsningsoperationer. Fokus ligger på att utforska hur en sådan lösning kan förbättra kvalitet och informationspresentation samt undersöka mognadsgraden på dagens AR-produkter.

1.3 Avgränsningar

Virtual Manufacturing är projektgruppens uppdragsgivare och projektet är tänkt för *Volvo Cars* som potentiell intressent. Bägge företagen bistår med information i form av ritningar, demonstrationer och rundvandringar. Rapporten kommer avgränsas till AR eftersom ett parallellt projekt behandlar motsvarande frågeställning ur ett Virtual Reality perspektiv. Som plattform för AR-utveckling kommer endast Microsoft HoloLens att användas. Manuell punktsvetsning är den enda svets tekniken som kommer utforskas under projektets gång.

Uppdragsgivarna har inte bestämt tidsramar för projektets leverans utan projektplanen med aktiviteter, leverabler och milstolpar är definierad av projektmedlemmarna (se bilaga A).

1.4 Frågeställning

Projektet avser utforska samt besvara följande frågor:

- Är det möjligt att ge svetsare stöd under svetsprocessen för att säkerställa hög kvalitet?
- Hur kan AR appliceras för att säkerställa att svetsaren utför uppgiften korrekt och i rätt ordningsföljd?
- Kan digitala instruktioner under svetsprocessen minska upplärningstid för oerfarna punktsvetsare?

1.5 Rapportens disposition

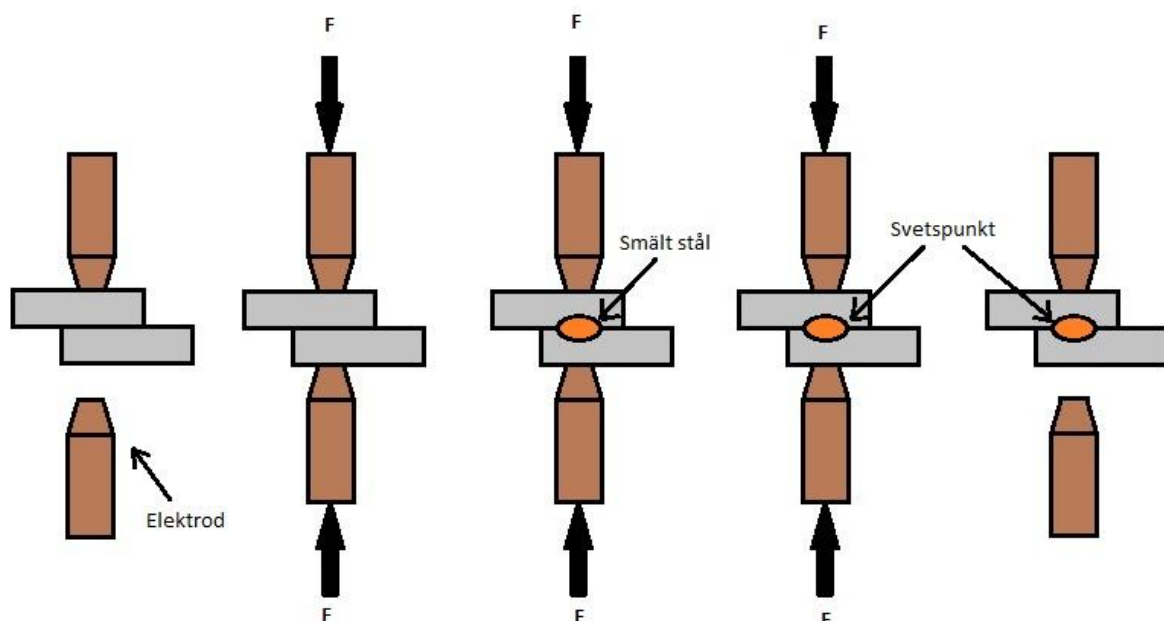
Den teoretiska referensram som utgör grunden för arbetet redovisas i kapitel 2. Där finns även information om AR och punktsvetsning. I kapitel 3 beskrivs metoderna som användes för detta projekt följt av kapitel 4 där resultaten från arbetet presenteras. I kapitel 5 diskuteras förutsättningar, begränsningar och utmaningar som uppstått under projektets gång. Avslutningsvis presenteras slutsats och vidare rekommendationer i kapitel 6.

2. TEORETISK REFERENS RAM

I detta kapitel behandlas teori om manuell punktsvetsning, cyber-fysiska system och industri 4.0. Det går även att läsa om all teori som krävdes för att utföra AR-lösningen.

2.1 Manuell punktsvetsning

Resistance spot welding (RSW) eller punktsvetsning är en metod som industrin använder för att sammankoppla två plåtar med varandra. Den grundläggande idén är att ström förs genom kopparelektroder samtidigt som tryck sätts på sidorna av det som ska svetsas samman. Eftersom koppar leder ström bättre än stål är resistansen högre i stålplåtarna än i kopparelektroderna, detta genererar då värme när ström flödar genom materialet. Denna värme leder till att stålet smälter samtidigt som det trycks ihop av tångerna och när det svalnar skapas en svetspunkt (5) (Se figur 2.1).



(Figur 2.1, Punktsvetsoperation)

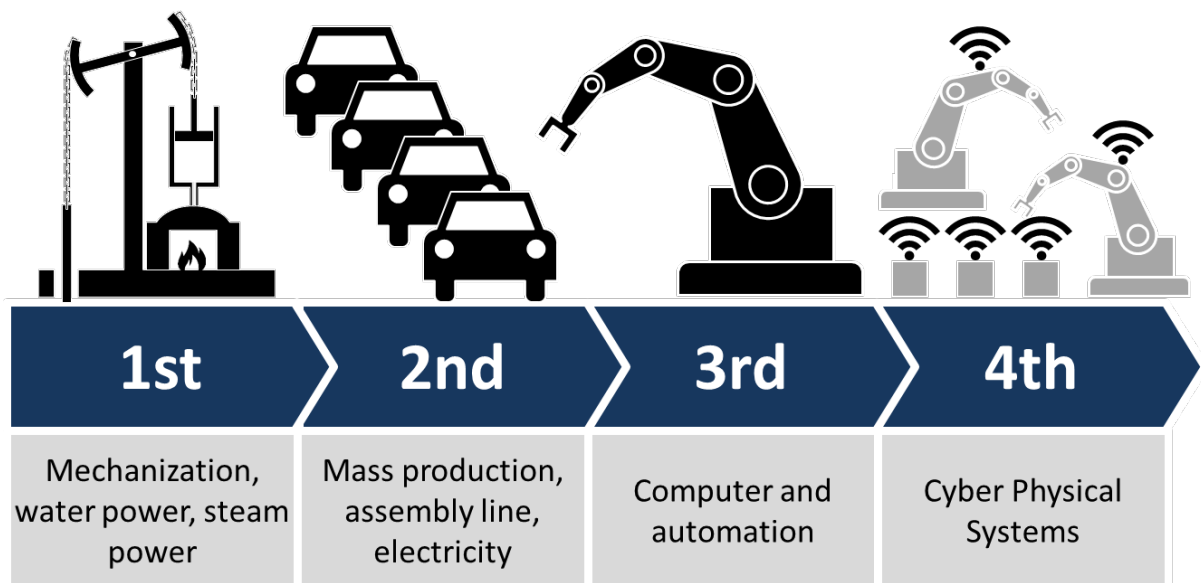
Det som påverkar punktsvetsningens kvalitet är därmed kraften som trycker ihop materialen, strömstyrkan och tiden svetsprocessen utförs. För att uppnå den bästa svetspunkten måste alltså dessa tre parametrar optimeras. Klämkraften kan antingen ökas eller minskas. Detsamma gäller val kring hur hög strömstyrkan ska vara och tidsåtgång kan varieras i alla delsteg av svetsoperationen. Om klämkraften inte är tillräckligt hög leder det till precisionsavvikelser, vad gäller strömstyrkan kan den orsaka en svag svetspunkt alternativt skapa hål i arbetsstycket om den är för låg respektive hög. Svetsprocessens tid vill man få så kort som möjligt ur effektivitetssynpunkt, men inte så kort att punkten flyttas eller på annat sätt försvagas, vilket är risken om man försöker gå för fort fram (5). I samtal med Volvo Pilot Plant framgick det att en svetspunkt tar ca 8 sekunder (se bilaga B). Det lämnar få utrymmen för misstag vilka kan bli kostsamma om detaljpriset är högt.

2.2 Industri 4.0

Historiskt sett har människan gått igenom tre stora industriella (r)evolutioner. Den industriella revolutionen anses starta med mekanisering och ångmaskiner under slutet av 1700-talet och i början på 1800-talet. Detta förändrade fullständigt sättet saker tillverkades på och gav ett enormt effektivitetslyft jämfört med andra arbetssätt som användes vid den tiden. Dessa byggde ofta på långsamma och mödosamma manuella hantverksarbeten (7).

Den andra evolutionen, under slutet av 1800-talet till början av 1900-talet, förde med sig nya uppfinningar som det löpande bandet, konstruktionsstål och förbränningsmotorer som möjliggjorde storskalig massproduktion, uppförandet av skyskrapor och att bilar blev mer tillgängliga för allmänheten (8). Den tredje evolutionen inom industrin uppstod under den senare delen av 1900-talet med övergången från mekanisk till digital teknologi. Detta möjliggjordes via datorisering och ledde till en mer automatisk och flexibel produktion (9).

Dessa industriella framsteg har lett fram till att det diskuteras om en fjärde evolution, industri 4.0, har inletts (se figur 2.2). Begreppet myntades först i Hannover 2011 av den tyska staten på en mässa och därefter har begreppet spridits vidare. Industri 4.0 syftar till att den nya evolutionen ska bygga på en mer flexibel produktion med mer automation och uppkoppling av produkter samt maskiner. Detta ska möjliggöras av bland annat fler sensorer i produktionen vilka ger ett bättre informationsutbyte där maskiner kan samarbeta sinsemellan och själva "berätta" vad de behöver. Uppkopplingen mellan maskiner är alltså en stor del av industri 4.0 men likaså är uppkopplingen mellan maskin-människa en viktig komponent. Inom produktion idag sker mycket av informationshanteringen med hjälp av skärmar eller pappersinstruktioner (10).

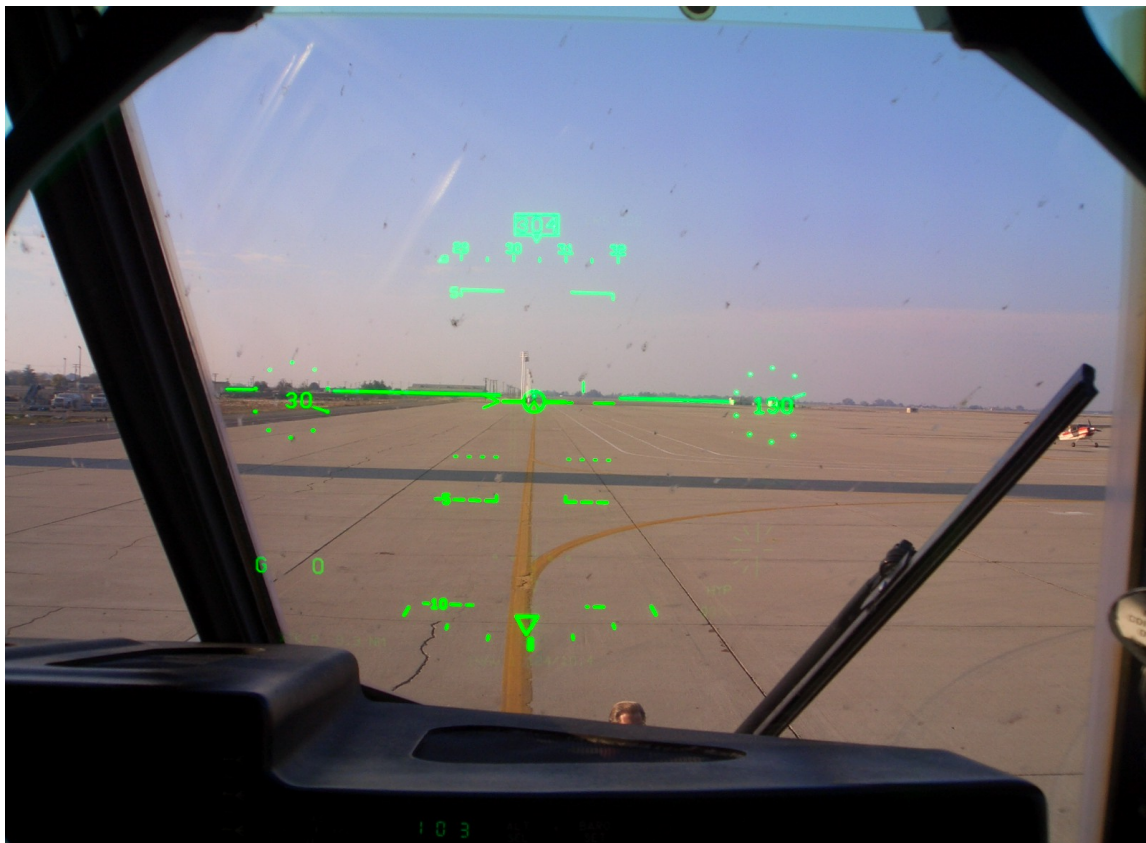


(Figur 2.2, Industriella evolutioner, hämtad från [wikimedia.org](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Industrial_Revolution.svg))

Med den stora utveckling som skett under de senaste åren inom VR och AR har lösningarna fått praktiska tillämpningar som genererat nytta. VR går numera att använda för exempelvis bostadsvisningar för att ge uppfattningar om det färdiga resultatet (11) och numera finns det gott om spel som stödjer tekniken (12). VR expanderar ständigt och industrin är alltmer intresserad av vad dessa tekniker kan användas till för att förbättra det dagliga arbetet. Många större tillverkande företag har därmed numera en AR och VR avdelning för att undersöka implementering i sina produktionslinor (13).

2.3 Augmented Reality

Begreppet AR är inte lika etablerat hos allmänheten och associeras mycket med att en användare tar på sig ett par glasögon och på så sätt får extra information om sin omgivning i form av interaktiv datorgrafik. Detta är en central del av AR-relaterad utveckling men det finns även enheter som inte är beroende av kroppsmontering. Dessa kan vara exempelvis HUD, head up display, som i stridsflygplan ger piloten information från instrumenten lättillgängligt levererat i pilotens synfält (Se figur 2.3.1). Det kan även användas i en bil där föraren kan få information utan att behöva förflytta fokus från vägen. AR teknik existerar således redan och används effektivt i dessa fall (14).



(Figur 2.3.1, Head Up Display, hämtad från wikimedia.org)

Under senare år har utveckling på området skett vilket har förenklat möjligheten till att anpassa presentationsform och den mängd av information som uppvisas. Tillväxten av tillgängliga applikationer har lett till kortare utvecklingstider och att anpassningar kan göras effektivt genom uppdateringar till enheterna. Applikationerna kan användas i exempelvis mobiltelefoner och med AR-headsets (14). Detta sker via en eller flera kameror som skannar av användarens omgivning för att kunna placera grafiken träffsäkert. Segmentet för konsumentinriktade AR-applikationer till mobila enheter synliggör tekniken för allmänheten, ett aktuellt exempel är spelet Pokemon Go (15) där kameran på mobiltelefonen kan läsa av ett område och placera ett hologram som användaren kan interagera med. Ett annat exempel är IKEA:s applikation Place som låter användaren placera virtuella modeller av företagets produkter i konsumenternas hem för att bedöma utseende och storlek innan köp (16) (Se figur 2.3.2). Det utvecklas i dagsläget fler och mer avancerade AR-headsets som kan visa alltmer

komplexa projiceringar och med högre träffsäkerhet vilket resulterar i att användningsområdet växer (17).



(Figur 2.3.2, IKEA Place)

2.4 Microsoft HoloLens

Microsoft har utvecklat en av marknadens hittills mest välanvända hårdvarulösningar designade för AR (se figur 2.4). HoloLens har fyra stycken omgivningsavkännande kameror för att kunna förstå glasögonens position i rummet i förhållande till andra objekt och begränsningar. Den har även en inspelningsbar kamera och en djupkänslig kamera. Detta för att kunna känna igen hur den ska placera hologram i rummets djupled. HoloLens väger 570 gram vilket är en konsekvens av att den har dedikerad hårdvara för att kunna köra program utan stöd av en dator. Glasögonen har även flera mikrofoner för att kunna ta upp omgivningsljud och ta emot röstkommandon samtidigt som den har högtalare placerade strax ovanför öronnivå vilket möjliggör ljudbaserad kommunikation mellan system och användare (18).

HoloLens har även en medföljande dongel som är och fungerar likt en enda stor knapp. Denna läser Unity av som antingen ett musklick med vänster knapp alternativt en så kallad "Air Tap" vilket är HoloLens sätt att registrera klick med hjälp av handrörelser. Detta liknar ett vänsterklick med en datormus och är ersättbart med ett klick på den medföljande HoloLens Clicker.



(Figur 2.4, Microsoft HoloLens, hämtad från theverge.com)

2.5 Andra AR-headset

I detta avsnitt behandlas övergripligt andra headset-enheter byggda för AR.

2.5.1 Meta 2

Genom en trådbunden koppling till dator levererar Meta 2 AR direkt i användarens synfält. Den är utgiven av företaget Meta som sökte utvecklingskapital via crowdfunding-sidan Kickstarter. Meta 2 blev tillgänglig för utvecklare under slutet av 2017. Den är designad för att ersätta en bildskärm och är ämnad för någorlunda statiskt arbete då den begränsas av kabeln till datorn (19). Med ett synfält på 90° har den en marknadsledande projiceringsyta och väger 500 gram (20).

2.5.2 Magic Leap

Denna enhet är inte på den kommersiella marknaden under våren 2018. Den är byggd för att vara mobil även om den kräver trådbunden kontakt med en portabel minidator som bärs på bältet vid användning (21). Inga viktspecifikationer är släppta, inte heller storleken på blickfånget men i en artikel av the Rolling Stone berättar skribenten att storleken är större än HoloLens-enhetens men ändå begränsande (22).

2.6 Unity

Unity är en motor ursprungligen utvecklat för interaktiva digitala spel. Programmet används för att bygga upp tredimensionella miljöer och objekt som manipuleras med hjälp av tillhörande skript som skrivs i programmeringsspråket C#. Det är en populär utvecklingsmiljö för VR-applikationer men även den som är bäst lämpad för Microsoft HoloLens enligt företaget själva (18). Unity är en spelmotor där objekt kan skapas och placeras i en digital rymd. Detta sker utan att utvecklaren behöver skriva egen kod. Objekten kan sedan manipuleras, antingen via Unitys egna grafiska möjligheter eller med hjälp av tillhörande skript. Det som skapas i Unity bygger på digitala tillgångar, "Assets", som kan flyttas fram och tillbaka mellan projekt. I programmet finns även en affär där fler Assets och utbyggnader av programfunktionaliteten finns. Ett flertal av dessa är gratis och är till stor del riktade mot just spelutveckling vilket fortfarande är Unitys huvudområde (23). I programmet kan samlingar med objekt samt tillhörande script paketeras ihop och sparas som ett Prefab. Detta möjliggör att flytta över en hel funktion med tillhörande logik från ett projekt till ett annat. Fördelen är att utvecklare kan bygga ihop ett program utifrån fungerande komponenter från andra projekt. I sin förlängning innebär det att en organisation som utvecklar flera liknande program i Unity kan skapa en databas uppbyggd av assets som kan importeras och modifieras för att snabbt leverera en kundanpassad applikation vilket exempelvis skulle gynna ett företag som säljer digitala lösningar till industrin (23).

2.6.1 HoloToolkit

Då Unity inte är fullständigt anpassat för byggandet av AR-applikationer har Microsoft själva byggt ihop en digital verktygslåda för att underlätta utvecklingsarbetet. I denna ingår standardkomponenter som siktesmarkörer, exempelprojekt och rörelsehanteringsskript. Detta utvecklingspaket finns tillgängligt på GitHub, ett verktyg som programmerare använder för att hantera och uppdatera kod, där det förnyas regelbundet (24). I paketet ingår också en virtuell kamera som är speciellt anpassad för att användas i HoloLens. HoloToolkit kallas även för MixedRealityToolkit av många utvecklare på internet.

2.7 Vuforia

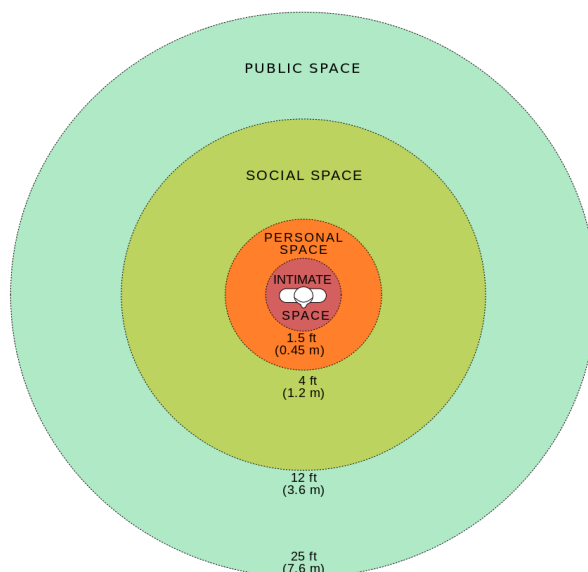
Vuforia var från början ett utvecklar-kit för telefonbaserad AR i Unity. Detta tillägg adderar bildigenkänning i rummet och är det mest populära utvecklingskitet för AR som finns under våren 2018. Utbudet av utbildningsvideor/artiklar är relativt stort även om många är inaktuella till följd av dess höga uppdateringsfrekvens. Vuforia används främst för olika typer av igenkänning. Fördelen med att känna igen olika objekt, bilder eller andra typer av ytor är att de kan hjälpa till att bestämma en plats i rummet (25). Genom att placera dessa bilder eller objekt likadant i både Unity och verkligheten kan användaren enklare visa var hologrammen ska infinna sig. HoloLens-enheten kommer registrera dessa och projicera hologrammen i relation till dem. För att utföra den här funktionen behöver utvecklaren skapa nycklar som används för att säkerställa att användaren nyttjar tjänsten på ett av företaget godkänt vis. Därefter kan utvecklaren definiera de "targets" som kameran ska känna igen som måltavlor. Dessa "targets" rankas enligt ett femstjärnigt rankingsystem beroende på hur tydliga konturerna är och måste vara i antingen JPG eller PNG filtyp. Det Vuforia använder för att upptäcka särdrag i en bild är skarpa kanter och ju fler sådana bildanalyseringen upptäcker desto bättre ranking kommer bilden erhålla (26). Exempelvis kommer en cirkel inte komma upptäckas medan en kvadrat kommer få fyra punkter som kan upptäckas, en i varje hörn. Vid användning av måltavlor bör därmed detta tas i beaktning för att få en så bra tracking som möjligt. Inbyggt i Vuforia finns en funktion som heter "Extended Tracking". Denna ska i teorin kunna behålla position på skannade objekt även när de befinner sig utanför kamerans synfält (26).

2.8 Gränssnittsdesign

Att minska gapet mellan teknik och användare är ofta ett av målen för produktprojekt. Målet är att användaren inte ska behöva utbildas i hur produkten skall interageras med utan utvecklarna vill oftast att all kommunikation ska vara intuitiv. Att designa användarvänliga upplevelser är ofta det som skiljer konkurrenter åt ur konsumentens synvinkel. Gränssnitt handlar inte enbart om komponenter som är lätta att förstå, de ska även fungera för alla användare oavsett förhinder. Vid utveckling och design av gränssnitt som ska användas i industrin måste utföraren ta hänsyn till att det är en övervikt av män inom svensk industri (27) som löper större risk (8% jmf med 0,5% för kvinnor) att inneha ett defekt färgseende. Därmed är det viktigt att designa både med färg och form för att kunna ge lättuppfattad feedback (28).

2.8.1 Gränssnittsdesign för Augmented Reality

När applikationer för AR började utvecklas utgick interaktions- och gränssnittsdesignen från traditionella riktlinjer som är anpassade efter grafikobjekt på en datorskärm (29). Detta skedde oftast med mus och tangentbord nära till hands. Fokus lades inte på att användare skulle behandla grafiska objekt utplacerade i det fysiska rummet annorlunda än med konventionella metoder (30). När användargränssnitt designas för AR behöver hänsyn tas till den rörliga skärmytan. Tillämpningsområdet bör också tas i beaktning då AR kan användas i flera olika typer av enheter och utföra en mängd uppgifter. Om en smartphone-applikation ska utvecklas måste hänsyn tas till att användaren tittar på telefonen på ett avstånd från ögat. Detta ter sig inte likadant vid applikationer avsedda för AR-headset där grafiken kan ritas upp direkt i synfältet. Om applikationen ska placera hologram i världen omkring enheten oavsett betraktningsriktning bör interaktionsdesignen utformas annorlunda jämfört om datorgrafiken aktiveras av ett fysiskt objekt (31). Som med all gränssnittsdesign kan för många grafiska element förvirra och störa användaren. Ofta är en minimalistisk design mer intuitiv och framgångsrik. Det finns fyra användningsdomäner för AR som utvecklare måste ta hänsyn till när en applikation utvecklas (Se figur 2.8.1). Det intima området är placerat direkt på kroppen, exempelvis Microsoft HoloLens. I det personliga området är användaren någorlunda statisk där en dator kan agera AR-enhet. Det sociala området är beläget där andra människor också kan befinna sig, exempelvis användandet av smartphoneapplikationen Pokémon Go i en stadsmiljö. Med den publika sfären innehar inte användaren någon egen AR-enhet utan interagerar med kroppen på en statisk station utplacerad i det allmänna rummet (30).



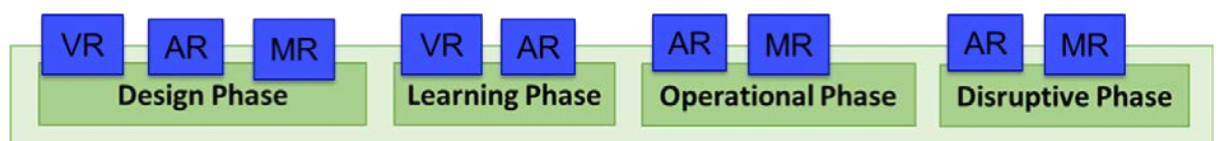
(Figur 2.8.1, De olika användningsdomänerna inom AR, hämtad från blog.prototypr.io)

2.9 Visual Studio

Visual Studio är en utvecklingsmiljö utgiven av Microsoft för att enklare kunna skapa, editera, buggsöka och kompilera programmeringskod. Det har använts sedan år 1997 då Microsoft gav ut den första versionen och har sedan dess blivit uppdaterad vid ett flertal tillfällen. Programvaran stödjer programmeringsspråk som C#, C++, Java och Python (32). Visual Studios mest avskalade version, Community Version, är gratis för alla datoranvändare med Windows som operativsystem. Programmet underlättar programmering med bland annat förslag på kod och bugglösningar. Koden kan sen kopplas till objekt i exempelvis Unity för att få dessa att agera som planerat. Visual Studio kan enkelt och smidigt anropa variabler mellan olika skript inom samma projekt. Programmet ger förslag på vad som går att skriva, det föreslår lösningar vid buggig eller felskriven kod samt tar emot insticksprogram från tredje part. Visual Studio stödjer distribution av program till ett flertal digitala enheter, bland annat Microsoft HoloLens. Det finns gott om stöd för Visual Studio och tillhörande programmeringsspråk på internet då både programsviten och programmeringsspråken är väletablerade. Det finns även ett extensivt hjälpbibliotek som utvecklarna själva givit ut på nätet där alla klasser, funktioner och operander beskrivs och utvecklas. Användare kan kompilera sin kod till exekverbara program eller skicka över koden till exempelvis ett Unityprojekt (32).

2.10 Extended Reality

Så kallad utökad verklighet är ett samlingsbegrepp som innefattar Augmented Reality, Mixed Reality och Virtual Reality. XR representerar den teknik som existerar mellan helt fysiska system och helt virtuella. Alla objekt som användaren ser i VR är fullständigt virtuella och världen interageras med fysiska rörelser. MR innebär en något närmre koppling till den fysiska världen där en stor mängd av synfältet kan vara syntetiskt, som i fallet med Augmented Reality, eller med mindre grafiska komponenter utplacerat i det fysiska rummet, alltså Augmented Reality. Det finns olika för- och nackdelar med nivån av virtuell integration beroende på dess applikationsområde. I rapporten “Testing and validating Extended Reality (xR) technologies in manufacturing” diskuteras de olika teknikernas implementationsområden inom industrin (33). Som utbildning- och designverktyg passar VR bra medan en högre nivå av virtuella element inte lämpar sig för operativa uppgifter då enheterna är immersiva och således blockerar användarens synfält. AR passar bättre för kognitivt stöd vid arbete då tekniken ger en betydligt lägre nivå av immersivitet och består av grafiska element uppvisade i det fysiska rummet kring användaren. I en upplärningsfas kan därmed båda tekniker användas där VR kan användas på ett tidigt stadiet för att ge användaren en uppfattning om det som skall genomföras (se figur 2.10.1). Möjligheten till omfattande visualisering i en virtuell miljö leder till att en skräddarsydd upplevelse kan visas upp där misstag inte har några konsekvenser. Därefter kan samma gränssnitt och arbetssätt användas i en AR-lösning som gör övergången till operativt arbete smidig. I design och beredningsfaser lämpar sig mer immersiva tekniker och AR blir mer behjälpligt ju närmre verkliga operationer teknologin ska användas i (33).



(Figur 2.10.1, De olika xR-teknikerna och dess användningsområden, hämtad från (33))

3. METOD

I detta kapitel beskrivs tillvägagångssättet för att uppnå projektmålet.

3.1 Projektplan

Vid projektuppstart definierades uppgiftens mål, delmål och leverabler med utgångspunkt från den information som uppdragsgivaren tillhandahöll. Informationen användes för att detaljera uppgiftsbeskrivningen och att framställa en projektplan för arbetet. Efter detta utfördes en förstudie med syftet att beskriva bakgrunden till uppgiften och att definiera vilken information som behövdes införskaffas för att lösa uppgiften. För att kunna förstå hur manuella punktsvetsningsoperationer går till genomfördes ett studiebesök på "Pilot Plant" som är en del av Volvo Cars, Torslanda. Dessutom studerades litteratur och en intervju utfördes tillsammans med yrkesverksam svetsare som innehar processkunskap.

Innan utvecklingen startades, inleddes fasen med en krav- och specifikationsaktivitet. Projektet definierade den nuvarande operationen för att hitta förbättringsområden och undersökte hur operationssekvensen bäst kunde översättas till AR. Dess utformning och utseende togs fram när en djupare förståelse för AR och dess ingående parametrar hade erhållits. *Stena Industry Innovation Lab* kom att tillhandahålla testglasögon (Microsoft HoloLens). Ett enklare AR-program för Microsoft HoloLens användes i syfte att testa modellens förmåga att känna igen en Vuforia Image Target. Med lösningen som grund skedde utveckling och testades iterativt inom ramen för den specifikationstid som var avsatt i projektplanen. Målet var att bygga en specifikation i form av en modell vars design kommer att efterlikna en verklig implementation på tydligaste möjliga sätt. Slutimplementationen kodades därefter i programvaran Unity med understöd av det inbyggda programtillägget Vuforia. Detta förutsatte att projektmedlemmarna hade inhämtat kunskaper i C# från Visual Studio då Unity-plattformen är starkt kopplat till detta programmeringsspråk. Lösningen krävde löpande validering i form av tester och informationsinsamling från personer med insyn i svetsprocessen då uttalade krav är svårare att kartlägga i intervjusammanhang.

3.2 Studiebesök

Ett studiebesök på Volvo Cars Pilot Plant genomfördes där projektmedlemmarna fick tillfälle att träffa en person med bred erfarenhet av punktsvetsning. I samband med detta ställde projektmedlemmarna frågor kring svetsning och AR-tillämpning. Det fanns även tillfälle till att se och känna på en riktig punktsvets. Det gavs även möjlighet att observera svetsares arbetsgång hur de utför operationen i dagsläget. Fotoförbud, krav på skyddsskor samt skyddsglasögon gäller samtliga besökare i fabriken. Projektmedlemmarna blev guidade av Anders Alexandersson som arbetar som Manufacturing Engineer för Volvo Cars.

3.3 Intervju

En intervju genomfördes med Per Gredenäs, arbetsledare på Pilot Plant. Intervjuobjektet hade gedigen kunskap inom punktsvetsningsoperationer och bedömdes vara en mycket kompetent informationskälla. För projektets del krävdes en förståelse för hur punktsvetsning fungerar i praktiken och hur verktyg och fixtur ser ut, samt hur processen genomförs. Frågorna behandlade operatörernas arbetsgång, punktsvetsning som operation och hur utbildningen är strukturerad för nya svetsare (Se bilaga B).

3.4 Utveckling

Här beskrivs programmet och gränssnittets utveckling genom projektet.

3.4.1 Gränssnitt

Att belysa rätt punkter i rummet på ett effektivt vis ansågs kritiskt av både intressenter och intervjurespondent. Då en genomsnittlig operatörs cykeltid uppskattas till åtta sekunder är det viktigt att kommunikationen mellan människa och teknik fungerar intuitivt. Att inte ha flera aktiva punkter samtidigt är viktigt för att operatören skall få tydliga instruktioner och kunna fokusera på att utföra sekvensen korrekt. Att kunna gå tillbaka till föregående svetspunkt ansågs viktigt då svetsaren kan bekräfta en operation av misstag och måste därför kunna backa programmet. En menyknapp introduceras för att användaren ska kunna styra programmet. Det är också användbart då HoloLens erbjuder enkel videouppspelning direkt i blickfånget.

3.4.2 Mockup

En visualisering av hur funktionaliteten skulle se ut genomfördes med hjälp av en CAD-fil av en fixtur som Volvo Cars förseddes projektmedlemmarna med.

3.4.3 Unity och Vuforia

Utvecklingsarbete mot Microsoft HoloLens sker via spelmotorn och programmet benämnt Unity. Projektmedlemmarna hade ingen erfarenhet av motorn innan arbetets start. Grundläggande kunskaper behövdes införskaffas för att kunna se vilka möjligheter och begränsningar programmet innebar. Då Unity främst är till för spel stötte utvecklingsarbetet på en del utmaningar rörande tillgången till upplärningsmaterial riktad mot AR. Med hjälp av tillägget Vuforia som sedermera blev integrerat i Unitymiljön kunde medlemmarna använda Vuforias bildigenkänningsfunktion för att ha en referenspunkt i rummet. Genom användning av denna funktionalitet kunde punkter placeras i rummet med en position som definieras från bildens placering. Därmed kunde kameran på HoloLens-enheten förflyttas medan punkternas placering förblev statisk på ytan. Projektet utforskade Unitys möjlighet till så kallad objektigenkänning där detaljerade CAD-modeller kopplas till verkliga objekt för att kunna placera ut svetspunkterna. Efter en diskussion med projektets handledare beslöts bildigenkänning användas istället för objektigenkänning då HoloLens-enhetens kamera var för lågupplöst och hade blivit desorienterad vid tidigare försök. Därmed beslutades det att träffsäkerheten påverkas för mycket och det valdes att utgå från bilder för att kunna placera punkter i rummet. Olika konstellationer av Image Targets testades för att hitta den som fungerade bäst. Projektgruppen utforskade om kameran enklast behöll position med hjälp av en stor Image Target eller flera små som potentiellt skulle kunna behålla position på de objekt som befann sig utanför kamerans synfält då de skulle vara definierade av den Image Target som befann sig inom det synliga området.

3.4.4 Verifikation

Verifikation av programmets funktionalitet gjordes genom att låta Christian Magass, certifierad svetsare, testa sekvensen. Som student på Chalmers Tekniska Högskola på Maskintekniskt program med inriktning mot tillverkningsindustri under våren 2018 och med sin punktsvetserfarenhet ansågs personen lämplig för utvärdering av programmet. Testaren fick ge synpunkter på teknologins och tillämpningens duglighet och ge feedback. Genom att låta Christian använda den senaste versionen av programmet överfört till HoloLens-enheten kunde Image Target-spårning testas i en så realistisk tillämpning som fanns att tillgå vid tillfället.

För att testa hur svetsare och HoloLens-användare utan någon tidigare erfarenhet reagerade genomfördes även en testomgång för ytterligare fyra personer. Testpersonerna fick en förklaring över vad punktsvetsning är och vad applikationen är ämnad att användas för. Det förklarades även hur man använder sig av Microsoft HoloLens och hur en Air Tap utförs. Därefter fick testmedverkarna utföra sekvensen i sin helhet och svara på tio frågor om programmets funktionalitet för att få feedback på användarvänligheten och att försöka få svar på frågeställningen (Se bilaga E). Personerna blev också ombudade att visa var punkterna hamnade i rummet. Markeringar gjordes och efteråt uppmättes det största avståndet mellan dessa värden. Detta för att ge en indikation på precisionen i systemet. Kontroll gjordes även ifall personerna utförde sekvensen i rätt ordning.

3.5 Mid-Term Presentation

Sjätte april presenterades projektets framsteg för uppdragsgivaren Virtual Manufacturing samt studerande som presenterade egna projekt på företagets kontor i centrala Göteborg. Varje utförare skulle framföra sina åstadkommanden i 20–30 minuter vardera, därefter vidtog en diskussion där åhörare kunde ställa frågor och be om förtydliganden av presentatören.

3.6 Workshop

Efter mid-termpresentationen efterfrågade uppdragsgivaren Virtual Manufacturing en workshop bestående av tre projektgrupper som utförde arbeten relaterade till antingen AR eller VR. Medverkande var även flera representanter från företaget som hade tidigare erfarenhet av teknologin. Ämnet för dagen var att samla den kunskap medverkarna besatt och försöka skapa ett gemensamt utvecklingsförfarande för att kunna effektivisera och förenkla skapandet av nya applikationer.

4. RESULTAT

I detta kapitel beskrivs de resultat som arbetet åstadkommit under projektets gång.

4.1 Studiebesök

Den 14 februari 2018 genomfördes ett studiebesök på Volvo Cars där projektmedlemmarna fick besöka Pilot Plant. Under en kortare rundvandring med Anders Alexandersson som guide, berättade Anders allmänt om Pilot Plants projekt och den testmiljö som avdelningen innebär. Han ansåg att det var rätt plats att gå till för att få tillfälle att tala med högkvalificerade personer med svetskompetens. Sedan gick gruppen till fabriksgolvet där manuella punktsvetsningsoperationer demonstrerades. Här ställdes frågorna gruppen förberett till Per Gregenäs och Anders Alexandersson samt utrustningen inspekterades på nära håll (Se bilaga B). Per var intresserad av teknologin bakom AR och ansåg att mängden potentiella användningsområden var stor, speciellt inom industritillämpningar. Två operatörer var i arbete på stationen under tiden gruppen var där. Detta gav besökarna möjlighet att på nära håll inspektera hur en faktisk sekvens utförs och lära sig vad svetsaren behövde tänka på under tiden denne utförde operationen. Operatörerna höll vid tillfället på att svetsa brunnar till bagageutrymmen. Det framgick att precisionen på punkterna som svetsades var väldigt viktigt och att det var viktigt att följa en viss sekvens med vissa punkter för att plåtarna skulle hålla ihop som menat. Punkterna som var viktigast och som skulle göras först kallades för geopunkter. När dessa var svetsade kunde resten göras i den ordning svetsaren själv föredrog. Plåtarna låg fast på en fixtur nedspända av tvingar vilket fastställde en precis position. Om svetsaren behövde stöd för att utföra operationen fanns det pappersinstruktioner att tillgå. För att läsa dessa skulle svetsningen behöva avbrytas under tiden operatören läser i manualen. På Pilot Plant arbetade de i par vilket Per berättade var standard för Volvo i Sverige men inte alls lika ofta förekommande i asiatiska industrier. Detta ansågs aktualisera behovet av kognitivt stöd vid svetsning än mer då operatörer arbetar ensamma. Utan extra vägledning i sekvensen från en kollega måste operatören lägga extra tankekraft själv på detta vilket kräver att blicken från arbetsstycket släpps. Gruppen frågade om det fanns möjlighet till fotografier alternativt filmning under besöket vilket inte tilläts. Då Volvo Cars testar nya processmetoder och modeller på vissa avdelningar i Pilot Plant rådde ett strikt fotoförbud av sekretess och konkurrenssyften.

4.2 Intervju

Frågorna ställdes till Per Gregenäs som arbetar på Volvo Cars Pilot Plant. Han hade relevant svetserfarenhet och hade rollen som avdelningschef vilket även innebar att han var lämpad för att svara på frågorna angående svetsarnas utbildningsgång. Frågorna ställdes under tiden gruppen befann sig vid en arbetsplats där manuell punktsvetsning stod i centrum. Detta möjliggjorde följdfrågor och mer informativa svar då Per kunde demonstrera sin mening med hjälp av fixtur och svetstång. Frågor angående svåra moment ställdes och genomgående förklarade respondenten att det svetsarna upplevde som svårast var placering av svetstång. Verktyget väger över 100kg men hålls upp av en kran för att operatören ska kunna styra den. Detta hjälper till med manövrabiliteten eftersom vikten neutraliseras men verktyget är fortfarande stort och otympligt. Det berättades även att det vanligaste kvalitetsproblemet upplevs vara att "slå hål" i arbetsstycket. Detta uppkommer när trådmatning eller mängd ström som används är för hög. Detta problem ansågs inte vara utmaningar som projektet kunde åta sig då det inte gick att koppla till AR (Se bilaga B).

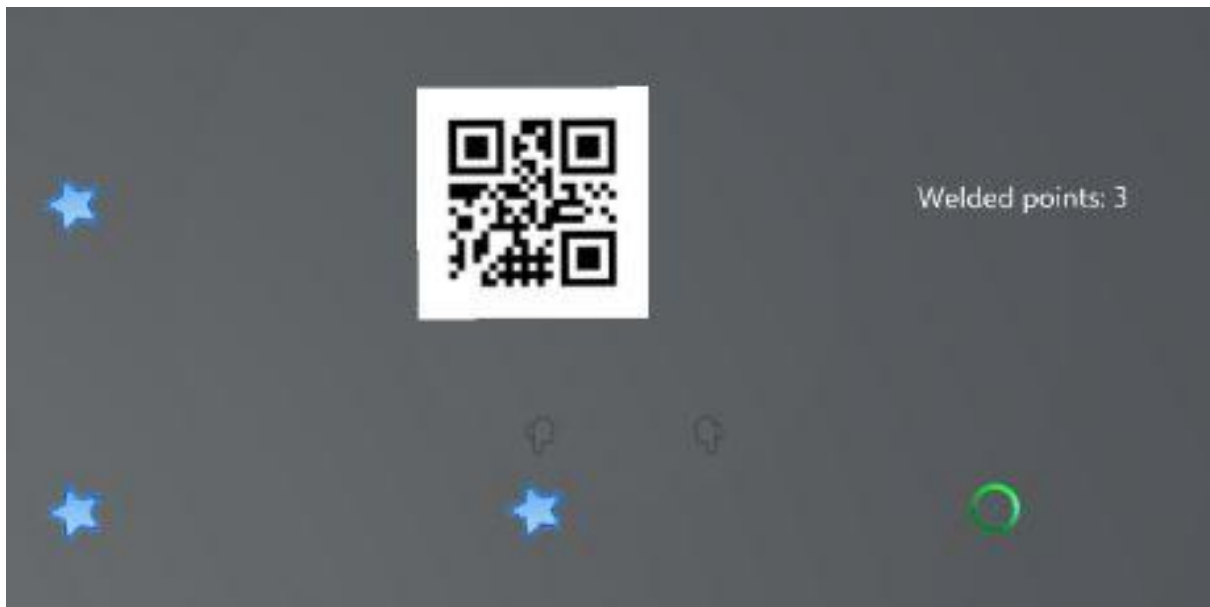
4.3 Utveckling

I detta avsnitt beskrivs applikationens utveckling.

4.3.1 Gränssnitt

Ett beslut angående färgkodningar togs där grönt valdes för att belysa en aktiv punkt som ska svetsas. När punkten är klar bekräftar operatören detta för programmet och nästa punkt visas i synfältet. Två sätt att visa svetspunkten testades. Det första konceptet byggde på att visa samtliga punkter som grå bortsett från den punkt som ska svetsas som är grön. Nästa punkt i sekvensen var färgad gul. Detta krävde betydligt mer beräkningskapacitet då punkterna byggdes med hjälp av Unitys funktion "Particle System" som ritar upp hundratals färgade punkter i rörelse (Se bilaga D). En mindre krävande lösning var att endast visa en roterande punkt som följde sekvensen (Se figur 4.3.1).

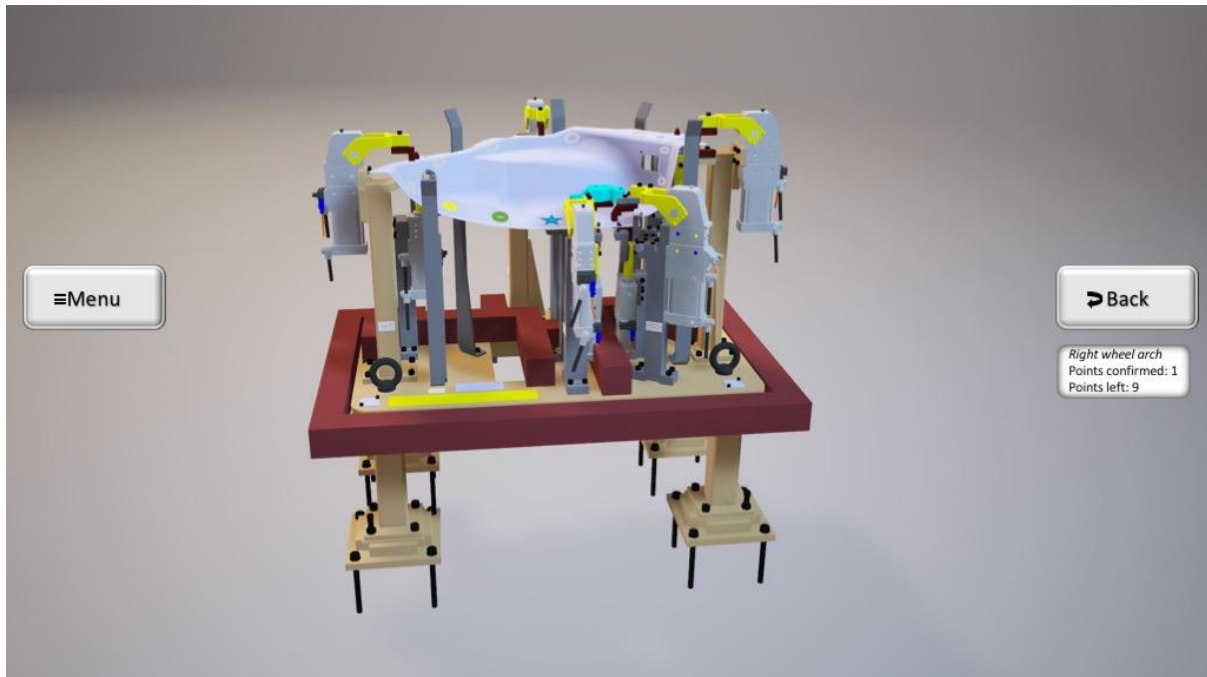
Att endast visa den aktiva punkten leder till att det blir svårare att svetsa på fel punkt då endast ett alternativ ges till operatören. Om istället alla punkter skulle visas vore det enklare att utföra sekvensen annorlunda vilket skulle möjliggöra att geopunkter utförs i fel ordning och leda till att svetssekvensen inte blev den mest optimala. Den skulle även kunna optimeras på ett beredningsstadie för att få en så effektiv och standardiserad svetsgång som möjligt. Den föregående punkten byts ut mot en blå stjärna när sekvensen går vidare för att representera en bekräftat färdig operation. På detta vis kan även färgblinda se skillnaden eftersom det lades vikt i att välja en annan geometrisk figur för att representera en svetsad punkt. Detta val togs för att göra lösningen så tillgänglig som möjligt. I synfältet finns även en så kallad 3D-text som berättar för användaren hur många punkter som denne har bekräftat. När samtliga punkter är stjärnor ändras uppräkningsen till ett meddelande om att sekvensen är genomförd och alla punkter är svetsade.



(Figur 4.3.1, visualisering av gränssnittet)

4.3.2 Mockup

En bild av hur gränssnittet skulle se ut projicerad på en fixtur producerades (Se figur 4.3.2).



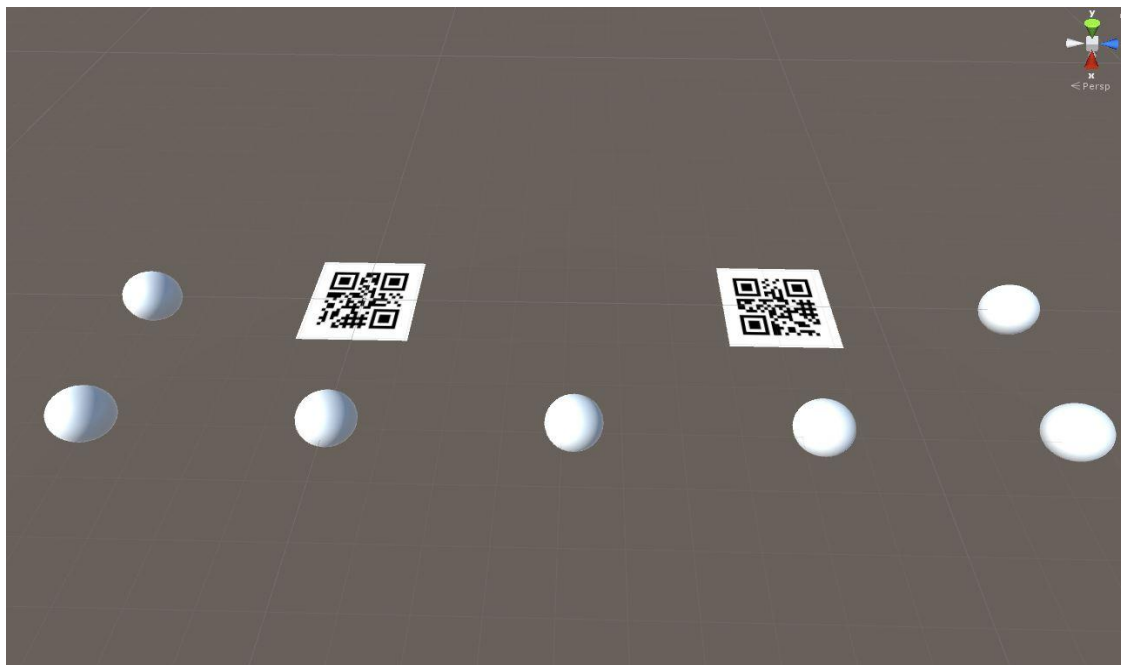
(Figur 4.3.2, Mockup av gränssnitt)

4.3.3 Unity och Vuforia

I början av projektet hade gruppmedlemmarna ingen tidigare kunskap om utveckling mot AR eller Unity i allmänhet. Även programmering i C# var nytt för utförarna vilket resulterade i att grundkunskaper behövdes anskaffas inför utvecklingsarbetet. Då Unity har täta, regelbundna uppdateringscykler var versionshantering problematiskt då vissa funktioner inte var möjliga i samtliga uppdateringar när verktyg byggdes om i olika versioner och många buggar påträffades. Det finns dock god tillgång till material på Internet där instruktionsvideor och genomgångar var till stor hjälp. Resultatet av dessa demonstrationer kunde anpassas för att passa projektets syften.

Unitys möjlighet till enkla spelobjekt förenklade utvecklingsarbetet betydligt då detta inte behövdes skapas med hjälp av externa script. Vissa script behövdes dock för att manipulera egenskaper som position eller utseende och kopplades därefter till objekten. För att simulera en sekvens som ska svetsas användes det inbyggda objektet "Sphere" (se figur 4.3.3). Detta objekt användes för att fastställa positioner som skulle belysas som svetspunkter för användaren. Dessa sfärer inaktiverades för att kunna behålla dess positioneringsdata men samtidigt förbli dolda för användaren. I intervjun på Volvo Pilot Plant (Se bilaga B) ansåg Per Gregenäs att han ville se alla punkter samtidigt för att få en överblick och kunna bocka av punkterna som svetsats. Detta visades dock vara svårare att utföra då Microsoft HoloLens synfält är begränsat och att det kunde förvirra operatören om inte operationen visas i sekvensen som operationen ska utföras. Istället valdes en lösning där sekvensen som ska utföras visar en punkt i taget där den gröna punkten som uppmanade användare till interaktion kunde förflyttas längs sfärernas fastställda positioner. Punkten går till nästa steg i sekvensen när användaren genomför en så kallat "Air Tap". Detta är en inbyggd funktion i HoloLens men krävde det externa hjälpmedlet HoloToolkit samt egenkomponerade script för att kunna implementeras i programmet. En Air Tap utförs genom att nypa med pekfingret och tummen

inom HoloLens-enhetens blickfång. Den bekräftade punkten ersätts sedan med en stjärna som placeras ut på samma position som sfärerna har. Det skapades även en informationstext med en kopplad räknare för att veta hur många punkter som svetsats. För varje bekräftad punkt ökar räknaren med ett till att sekvensen är färdig då detta skrivs ut i informationstexten. På detta vis kan operatören enkelt titta på detaljen med HoloLens-enheten och bekräfta att alla punkter är markerade med stjärnor istället för att manuellt behöva räkna och detaljgranska dem.



(Figur 4.3.3, Sfärernas position i Unity)

Vuforias bildigenkänning som läser av var kanter i bilderna befinner sig lämpar sig väl för QR-koder (Se figur 4.3.4). Alla QR-koder som användes gav den högsta rankingen, en 5-stjärnig, vilket därmed endast kom att utnyttjas som Image Targets. Det var väldigt viktigt att i början definiera bildernas storlek i Vuforia för att inte Microsoft HoloLens ska kunna bedöma avståndet fel vid användning. Med rätt definition av Image Targets storlek blir allt i samma skala i Unity vilket leder till att punkterna kan placeras i SI-enheter utifrån Image Targets position. En nyckel för användarrättigheter samt en databas för QR-koderna skapades för att kunna använda de Image Targets gruppen tidigare beslutat om.



(Figur 4.3.4, QR-kod som Image Target)

Utvecklingsarbetet visade att den virtuella kamera som är en del av utvecklingspaketet HoloToolKit skiljer sig från den AR-kamera som ingår i Vuforiapaketet. Den sistnämnda innehåller ett konfigurationskript som förklarar för kameran vad det är den ska leta efter i blickfånget, det vill säga projektets Image Target. Då denna inte kunde förläggas till HoloLens utan kraftiga buggar och då kombinationen med andra komponenter som ingår i HoloToolKit gav konstanta felmeddelanden gjordes en egenkonstruerad virtuell kamera som bestod av blandade komponenter från båda lösningar.

Projektgruppen testade olika konstellationer av Image Targets för att försöka behålla punkternas position även när de var utanför kamerans synfält. Med hjälp av flera targets definierade i Unity skulle HoloLens-enheten i teorin kunna veta var svetspunkterna befann sig i förhållande till den Image Target som befann sig i synfältet. Detta fungerade dessvärre inte i praktiken utan positionen tappades inom sekunder från att den inte såg punkten längre. Därefter testades Vuforias inbyggda funktionalitet "Extended Tracking". Med hjälp av detta verktyg skulle det skannade objekts position sparas även utanför kamerans synfält. Även detta visade sig vara ineffektivt vid test då position tappades och funktionen hamnade i konflikt med den digitala HoloLens-kameran importerad från MixedRealityToolKit. Efter dessa tester bedömdes det att använda en stor Image Target för att inte förvirra kameran (Se bilaga C och D).

4.3.4 Verifikation

Genom att placera QR-koden i enhetens och användarens blickfång kunde sekvensen aktiveras. En kortare introduktion genomfördes där projektets syfte, frågeställning och tillämpningsområde förklarades för testaren. HoloLens-enhetens grundfunktioner förklarades och demonstrerades innan testpersonen fick möjlighet att genomföra sekvensen. När utföraren sedan initierade programmet upplevdes "Air Tap"-gesten som väldigt välfungerande. Enheten registrerade användarkommandon vid varje givet tillfälle. Testpersonen ansåg att tillämpningen var rimlig men att synfältet var för snävt. Som vägledning genom svetssekvensen ansågs tekniken vara duglig även om positioneringen av punkterna hade cirka två centimeters repeternoggrannhet. Det ansågs vara tydligt vilken punkt som var aktiv när den väl upptäckts då endast en existerade i blickfånget. Utföraren ansåg att placeringen av räknaren som beskrev hur många punkter som var bekräftade hellre skulle förbli statisk i synfältet.

En sammanställning av resultatet från testkörningen när de oerfarna användarna fick prova programmet visar att användarna är positiva till den här typen av hjälpmedel. Alla var eniga att detta hade hjälpt dem i en situation som ny svetsare. Räknaren upplevdes också positivt speciellt vid svetsning av många punkter. Det som upplevdes mindre positivt var framförallt problem med tydligheten och det begränsade synfältet. Användarna upplevde att en mer direkt styrning mot punkterna hade varit önskvärt. Svaren från frågorna kan ses i sin helhet i bilaga F. I samband med testkörningen (Se figur 4.3.5) kontrollerades även om användarna utförde sekvensen korrekt vilket alla gjorde. Markeringar gjordes för att undersöka applikationens precision vilket gav ett maximalt uppmätt avstånd på 28 mm.



(Figur 4.3.5, test med oerfaren användare)

4.4 Mid-Term Presentation

Den sjätte april genomfördes en presentation av projektet och de resultat som gruppen åstadkommit vid tillfället. Responsen från åhörare var positiv och frågorna var många. Studenterna fick möjlighet till respons och lösningsförslag till de utmaningar som hade uppstått under arbetets gång.

4.5 Workshop

En workshop på uppdragsgivarens kontor genomfördes den 26:e april 2018. Där diskuterades framförallt utvecklingsarbete mot AR och mötesledaren uppmuntrade studenterna till att dela med sig av de utmaningar som hittills stötts på. Syftet av detta möte låg framförallt i hur uppdragsgivaren kan förbättra sina arbetssätt och förenkla för anställda och studenter i utvecklingen kring förstärkt verklighet. Medverkande enades om att sammanställning och mer delning av material inom företaget vore önskvärt, för att snabbare kunna nå resultat i framtiden.

5 Diskussion

I detta kapitel diskuteras metod och resultat samt dess förutsättningar och utmaningar.

5.1 Metoddiskussion

Vid projektstart gjordes en preliminär tidsplan där de olika aktiviteter som skulle genomföras planerades. Ett studiebesök var nödvändigt då ingen av projektmedlemmarna hade sett eller använt en manuell punktsvets innan. Att få fotografera eller filma sekvensen vid besöket hade underlättat utvecklingsarbetet då möjligheten till att analysera arbetssekvensen när otydligheter uppstod hade funnits. För att få relevanta svar på de osäkerheter som existerade kring manuell punktsvetsning, arbetssättet och vad industrin efterfrågar bedömdes en kvalitativ intervju med yrkesverksam svetsare som den ideala respondenten. Därmed genomfördes en intervju i samband med besöket på Volvo Cars Pilot Plant. Utvecklingsarbetet tog betydligt mycket längre tid än väntat då ingen av projektmedlemmarna hade tidigare erfarenhet av varken C#, Unity eller utveckling mot AR. Detta innebär att grundkunskaper behövde införskaffas, främst via Microsoft, YouTube och diverse programmeringsforum som StackOverflow.

5.2 Resultatdiskussion

I denna del diskuteras resultatet av arbetet och dess utmaningar.

5.2.1 Mjukvara

Att Unity är så välanpassat för grafiskt utvecklingsarbete har underlättat arbetet då mängden kod som behöver skrivas är betydligt mycket mindre, jämfört med andra AR-lösningar som Meta 2 vilken kräver mer programmeringskunskaper. Unitys möjlighet till Prefabs och den inbyggda möjligheten till att skapa och manipulera objekt direkt i editorn leder till att arbetet blir mycket mer effektivt. Det innebär att de objekt som inte ska utföra någon speciell uppgift går snabbt att skapa och placera medan tillhörande C#-script manipulerar de objekt som ska utföra något speciellt. Den något långsamma processen att skapa en build och föra över den till HoloLens via Visual Studio gjorde testningen tidskrävande, speciellt då det ibland krävde flera försök innan programmet fördes över korrekt. Det resulterade i att många test genomfördes via en USB-baserad webbkamera som lånades av SII-lab. Detta var en snabbare lösning när små förändringar skulle testas ofta men resulterade också i att viss funktionalitet fungerade på webbkameran men inte på HoloLens-enheten. Vuforia har en applikation för utvalda Samsung Galaxy telefoner som möjliggör objektskanning. Det hade varit intressant att testa men var inte en möjlighet då projektgruppen inte hade tillgång till en sådan enhet. Meny- och backningsfunktionalitet diskuterades under projektet men skapades inte då tiden begränsade arbetet.

5.2.2 Hårdvara

Microsoft HoloLens är en enhet som är banbrytande ur flera aspekter. Den tillgängliggör AR för relativt oerfarna användare och har ett intuitivt inbyggt gränssnitt. Som med all teknik finns även begränsningar som måste tas i beaktning när utveckling mot enheten ska ske. Med dagens version av HoloLens är kamerorna den största begränsningen då dessa är något för lågupplösta för att kunna återge hög träffsäkerhet och repeternoggrannhet. Detta försvårade och begränsade arbetet med att visa svetspunkterna med önskvärd precision. Vid användning av lösningen uppmättes en positioneringsnoggrannhet på två centimeter i diameter för hologrammen. Hur bra programmet än är kommer kamerorna i denna generations HoloLens omöjliggöra högprecisionsarbete i allmänhet och manuell punktsvetsning i synnerhet. Detta är

dock troligtvis ingenting som kommer förbli ett problem i framtiden då kamerorna med största sannolikhet kommer förbättras i nästa iteration av enheten. Den medföljande HoloLens Clicker är en användbar enhet, speciellt i situationer då användaren inte har fria händer. Den kan enkelt placeras på exempelvis ett verktyg som skulle möjliggöra att gå till nästa steg i sekvensen utan att behöva frigöra händerna för ett så kallat Air Tap. I mindre bullriga miljöer är även röststyrning ett alternativ. Det relativt lilla fältet som möjliggör hologramvisning förhindrar också en tillräckligt tillfredsställande säljbar lösning. Användaren måste i princip titta rakt på objektet för att det ska visas. Det går att göra lösningar för att vägleda användaren till att titta på rätt objekt men visningsytan är fortfarande för liten för att kunna ge en bra överblick. Även detta är något som sannolikt kommer åtgärdas i nästa version av HoloLens då det är det vanligaste klagomålet gruppen stött på när HoloLens diskuterats. När projektmedlemmarna talade med branschfolk under Stena Industry Innovation Lab:s invigning på campus Lindholmen, Chalmers i maj 2018 fanns även där en konsensus kring HoloLens-enhetens utmaningar. Vid en diskussion med en anställd på ett stort svenskt industriföretag kritiserades HoloLens-enheten för dess tyngd vid längre användningssessioner. Personen arbetade med att ta fram underlag för implementering av AR-lösningar i produktionssammanhang. Även testpersonerna kritiserade enheten på grund av dess tyngd vid verifikationen.

5.2.3 Teknikdiskussion

AR-tekniken befinner sig fortfarande i ett tidigt stadiet gällande industriella implementeringar. I de fall där cyber-fysiska system används är VR dominerande på grund av den tillväxt av användning som skett i spelindustrin och dess enkla utvecklingsmöjligheter i jämförelse med AR. Bortsett från själva systemet, kräver inte VR några övriga fysiska produkter för att kunna utföra sin uppgift. Detta leder till att det är en billigare teknik för ett företag att utforska i kombination med mängden information och kodbibliotek som finns att tillgå via internet är betydligt mer omfattande. Det är alltså endast program och programmeringskunskaper som begränsar utveckling mot VR. Då AR lämpar sig främst för kognitivt stöd vid lärande och operativt arbete, kräver detta både digital och fysisk version av arbetsobjekt för att kunna återge en realistisk arbetssituation och vara behjälplig i allmänhet. Detta begränsar projekt som detta då en fysisk fixtur och ett arbetsstycke hade varit nödvändig för att kunna demonstrera en faktisk tillämpning. Utan mer precisa kameror stöter AR på problem vid implementeringar som kräver hög positioneringsnoggrannhet vilket flertalet operationer inom industrin behöver.

6. SLUTSATS OCH REKOMMENDATIONER

AR-implementering befinner sig fortfarande i ett tidigt stadie i utvecklingen. Sammantaget är användbara applikationer fortfarande få. Konsensus ligger i att precisionen i dagsläget är för låg och AR-headsets synfält för snävt. Trots detta är industrin intresserad och många företag har börjat investera och utveckla för att ligga i framkant när tekniken är redo. I samband med nya generationer av AR-headsets förväntas dessa problem att åtminstone delvis lösas. Positionering kan lösas med hjälp av yttre system. Alla komponenter i Unity kan styras med hjälp av C#-skript vilket även gäller positioneringskänsliga delar.

Projektet har visat att digitala instruktioner kan användas för att ge stöd till svetsoperatörer. Utförandet när programmet körs i Unity visar att teorin håller och problemet först uppstår när implementeringen i HoloLens ska ske. För att kvaliteten under svetsprocessen ska bibehållas krävs exakt positionering för att operatören ska erhålla korrekta instruktioner. Detta skulle i dagsläget kräva ytterligare en positioneringsenhet då HoloLens-enhetens kamera inte är precis nog. Om precisionen kan förbättras med externa system på ett effektivt sätt eller genom bättre AR-headsets finns det goda förutsättningar för en lyckad implementation.

I detta arbete undersöktes även hur AR kan användas för att garantera att uppgiften utförs korrekt. Det besvarades genom att visa en bestämd sekvens vilken hindrar operatören från att se nästa punkt innan nuvarande är bekräftad. Detta leder till att uppgiften blir tydlig och energi inte behöver läggas på att planera arbetet innan det påbörjas. Operatören kan då lägga större fokus på att utföra uppgiften korrekt och felaktigheter kan minimeras. Genom att programmet själv räknar punkterna som svetsas kan denna del av kvalitetssäkring elimineras och tid sparas.

Programmet visar i dagsläget inte hur själva svetsningen går till utan denna träningen måste i dagsläget ske på annan plats. När operatören lärt sig detta kan AR-applikationen ge kognitivt stöd åt användaren för att demonstrera var svetsningen ska ske. HoloLens-enheten är i dagsläget en förhållandevis ny produkt och operatören skulle potentiellt behöva träning i hur en sådan används för att kunna arbeta med enheten i produktion.

Arbetet har tolkats som ett sätt att erbjuda stöd för operatören och inte ta bort alla beslut från denne. Därmed ligger det felmarginaler i användandet om instruktionerna inte följs och det ligger i operatörens ansvar att följa instruktionerna och använda sig av dessa för att uppnå fördelarna med systemet.

Rekommendationer

Då projektet utfördes över en bestämd tidsram begränsade detta i slutändan utvecklingsarbetet. HoloLens-enhetens användbarhet i denna tillämpningsform försvåras av kamerans upplösning. Kravet att korrekt positionera hologrammen vid varje tillfälle måste uppfyllas för att det ska vara en gångbar lösning. Alternativa positioneringslösningar har diskuterats under projektets gång men förblev outforskade då kunskap och tid saknades. Företaget HTC har utvecklat en tracker till sitt Vive-system som potentiellt skulle kunna lösa detta problem. Med hjälp av två kameror som placeras i takhöjd läser de av enhetens position med betydligt högre träffsäkerhet än Microsoft HoloLens. I teorin skulle en mer träffsäker positionering kunna uppnås om den definierades utifrån verktygets placering i förhållande till arbetsstyckets. Detta skulle kräva en bro mellan HoloLens och Vive-systemet. Båda använder Unity för utveckling vilket bör underlätta. Nexonar har utvecklat en IR-tracker som också skulle potentiellt kunna fungera för att öka positionerings- och repeternoggrannheten hos enheten. Om ett externt positioneringssystem används bör andra, lättare headset som kan användas bekvämt under en längre tid ses över då HoloLens-enheten skulle använda sin fulla kapacitet.

Litteraturförteckning

1. Selection and Applications of Automatic Spot Welding Methods. Uralath, S. Singh, H (2014) <http://www.iosrjournals.org/iosr-jmce/papers/vol11-issue4/Version-4/H011445054.pdf> (Acc 2018-04-13)
2. Why Robots Will Improve Manufacturing Jobs. Kaeser J. (2017) <http://time.com/money/4492840/robots-not-stealing-jobs/> (Acc 2018-04-15)
3. The Agency Work Industry Around The World. Ciett. (2012) http://www.weceurope.org/fileadmin/templates/ciett/docs/Stats/Ciett_econ_report_2012_final.pdf (Acc 2018-04-18)
4. Smart industri är nyckeln för svensk tillväxt. Elmia (2017) <https://www.elmia.se/Robotkonferens/Om-konferensen/smart-industri-ar-nyckeln-for-svensk-tillvaxt/> (Acc 2018-04-18)
5. Kimchi M: Fundamentals and Applications for the Automotive Industry, 2017
6. Bruland, Kristine: Assessing the role of steam power in the first industrial revolution: The early work of Nick von Tunzelmann. J Research policy, Vol 42, no 10, sid 1716-1723, 2013
7. Stăncioiu, Alin: The Fourth Industrial Revolution „Industry4.0”. J Fiabilitate și Durabilitate, Vol 1, no 19, sid 74-78, 2017
8. The Second Industrial Revolution, 1870-1914, Ryan Engelman. U.S History Scene <http://ushistoryscene.com/article/second-industrial-revolution/> (Acc 2018-05-04)
9. Debjani, Roy: Cinema in the Age of Digital Revolution. J International Journal of Interdisciplinary and Multidisciplinary Studies (IJIMS), Vol 1, No.4, sid 107-111. 2014
10. Ustundag A. and Cevikcan E.: Industry 4.0: Managing the Digital Transformation, Istanbul, Turkiet 2018
11. Nu kan du gå på VR-visning på Hemnet. Metro, 2017 <https://www.metro.se/artikel/nu-kan-du-g%C3%A5-p%C3%A5-vr-visning-p%C3%A5-hemnet> (Acc 2018-04-08)
12. Virtual Reality Game List. VR Games For, 2018 <https://vrgamesfor.com/list/> (Acc 2018-04-08)
13. What industries are using virtual reality? Williams, Hannah. Computerworld UK. (2017) <https://www.computerworlduk.com/applications/six-business-uses-for-virtual-reality-3641742/>
14. Peddie J: Augmented Reality - Where We Will All Live, Tiburon, USA 2017
15. Catching Pokémon in AR+ mode (iOS only), Pokemon Go. Niantic, Inc. (2018) <https://support.pokemongo.nianticlabs.com/hc/en-us/articles/115015868188-Catching-Pok%C3%A9mon-in-AR-mode-iOS-only-> (Acc 2018-04-08)

16. IKEA Place. IKEA. (2018)
<https://www.ikea.com/gb/en/customer-service/ikea-apps/> (Acc 2018-04-08)
17. Ariso J. M.: Augmented Reality: Reflections on its Contribution to Knowledge Formation, De Gruyter, Berlin/Boston 2017
18. Microsoft HoloLens. Microsoft
<https://www.microsoft.com/en-us/hololens/buy#buyenterprisefeatures> (Acc 2018-04-08)
19. What's the Difference Between HoloLens, Meta 2 & Magic Leap?. Odom, J. (2017)
<https://next.reality.news/news/whats-difference-between-hololens-meta-2-magic-leap-0181804/> (Acc 2018-04-25)
20. Be at the Forefront of the AR Enterprise Revolution. Meta Company (2018) <https://meta-eu.myshopify.com> (Acc 2018-05-15)
21. The Magic of Magic Leap's Hardware — Here's What We Know. Odom, J. (2017)
<https://magic-leap.reality.news/news/magic-magic-leaps-hardware-heres-what-we-know-0181760/> (Acc 2018-05-15)
22. Magic Leap: Founder of Secretive Start-Up Unveils Mixed-Reality Goggles. (2017-12-20). Crecente, B. The Rolling Stone.
<https://www.rollingstone.com/glixel/features/lightwear-introducing-magic-leaps-mixed-reality-goggles-w514479> (Acc 2018-05-15)
23. The leading global game industry software (2018) Unity
<https://unity3d.com/public-relations> (Acc 2018-04-08)
24. Mixed Reality Toolkit (2018) Microsoft
<https://github.com/Microsoft/MixedRealityToolkit-Unity> (Acc 2018-03-10)
25. Optimizing Target Detection and Tracking Stability. Vuforia.
<https://library.vuforia.com/articles/Solution/Optimizing-Target-Detection-and-Tracking-Stability.html> (Acc 2018-04-23)
26. Vuforia Target Manager. Vuforia.
<https://library.vuforia.com/articles/Training/Getting-Started-with-the-Vuforia-Target-Manager> (Acc 2018-04-23)
27. Yrkesregistret med yrkesstatistik (AM 33 SM 1501). SCB (2013).
http://www.scb.se/Statistik/AM/AM0208/2013A01/AM0208_2013A01_SM_AM33SM1501.pdf (Acc 2018-03-30)
28. Colour Blindness. Colour blind awareness
<http://www.colourblindawareness.org/colour-blindness/> (Acc 2018-04-11)
29. Recent advances in augmented reality. Azuma, R et al. (2001)
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/963459/?reload=true> (Acc 2018-03-12)

30. User Experience - Recent advances in augmented reality (2017)
<https://www.webdesignerdepot.com/2017/07/the-essential-guide-to-ux-for-ar/> (Acc 2018-03-12)
31. AR UI best practice – designing for augmented reality experiences. Engine Creative
<https://www.enginecreative.co.uk/blog/ar-ui-best-practice-designing-for-augmented-reality-experiences/> (Acc 2018-04-11)
32. Editing code in Visual Studio. Microsoft (2018)
<https://www.visualstudio.com/vs/features/ide/> (Acc 2018-03-29)
33. Fast-Berglund Å. Gong L. Li D.: Testing and validating Extended Reality (xR) technologies in manufacturing. J Swedish Production Symposium (SPS), Vol 8. 2018

BILAGOR

A. Tidsplan

Uppdraget utförs våren 2018 med slutleverans och projektavslut i början av juni, 2018.

	v.3	v.4	v.5	v.6	v.7	v.8	v.9	v.10	Tentavecka	v.12	v.13	v.14	v.15	v.16	v.17	v.18	v.19	v.20	v.21	Tentavecka	v.23
Projekttupstart																					
Problemteknik																					
Planeringsrapport																					
Möte med uppdragsgivare																					
Förstudier																					
Informationssökning																					
Intervjuer med avetsare																					
Studiebesök Pilot Plant																					
Program/Programmering																					
Visual Studio (C#)																					
Unity																					
Designa gränssnitt																					
Simulering																					
Test och förbättringar																					
Test av yrkesverksam																					
Rapportskrivning																					
Rapportinlämning																					
Presentation																					

Interna milstolpar

B. Intervjufrågor

Här redovisas svar från intervjun av Per Gredenäs, avdelningschef på Volvo Cars Pilot Plant, och Anders Alexandersson, Manufacturing Engineer, Volvo Cars. Efter intervjun berättar Anders Alexandersson att manuella punktsvetsningsoperationer främst sker i Asien där kostnaden för arbetskraft är lägre. I väst är det mer lönsamt med automatiserade lösningar och mer robotar i produktionen.

Allmänna frågor

Får vi fotografera?

- Nej, fotoförbud råder

Får man filma hur arbetet går till?

- Nej

Hur lång utbildningstid har svetsarna?

- Nyanställda får en halvtimme med arbetsplatsens svetsmästare, sedan får man ytterligare lite tid med ens nya kollegor och till slut råder instruering under tiden man arbetar. Den absoluta merparten av utbildningen sker on-line.

Hur lång tid tar det att svetsa en plåt?

- Det beror på hur många punkter som ska svetsas, Pilot Plant har i normalläget mellan 60–100 punkter. Där har man 90 sekunder per punkt medan vanliga on-line operatörer har åtta sekunder.

Vad ser ni för problem med punktsvetsning i dagsläget? (svåra operationer)

- Att komma åt punkten i rätt vinkel. Placeringen av verktyget är den mest utmanande delen av operationen, resten är bara en knapptryckning.

Vad är svårast att lära sig, vad tar längst tid?

- Placering av verktyget. Att flytta svetstången från en punkt till nästa tar längst tid

Vanligaste felen/kvalitetsproblem?

- Att operatören "slår hål" i plåten. Detta händer då det uppstår luftfickor mellan noderna som bildar ett hål i arbetsstycket. Detta anser Per inte vara ett problem som projektet kan åtgärda.

Hur ser utbildningen ut?

- Utbildningen sker på arbetsplatsen, halvtimmen med svetsmästaren är den enda del av upplärningen som kollegorna inte ansvarar för.

AR

Hur ser fixturen ut?

- En modulär platta med anpassningsbara tvingar för att fästa in detaljen som ska svetsas

Hur stora är plåtarna/vikt/material?

- Det är svårt att ge ett tydligt svar då Pilot Plant hanterar alla möjliga storlekar och typer.

Hur tittar en svetsare under arbetets gång?

- Mellan svetspunkter på detaljen och instruktionslistan

Hur många operationer per plåt?

- Ca 60–100 på Pilot Plant, antagligen mindre på produktionen enligt Per

Vad finns det för instruktioner i dagsläget?

- Papper med geopunkter, sekvens med verktygsinstruktioner

Hur skulle ni vilja att detta fungerade? (AR)

- Per ville kunna få en överblick över samtliga punkter för att kunna grönmarkera de man gjort, mest för att “bocka av” istället för att behöva räkna

Är det vanligt att svetsningen sker i fel ordning/fel plats så plåten måste kasseras?

- Geopunkterna missas aldrig, det händer snarare att man missar någon övrig punkt

Hur vet operatören var han/hon ska svetsa och i vilken ordning?

- Instruktionslistan

C. Image Target med flera QR-koder



D. Image Target med en QR-kod



E. Frågor till testpersoner

1. Förstod du hur programmet skulle användas?
2. Förstod du hur HoloLens-enheten skulle användas?
3. Fanns det oklarheter i sekvensen?
4. Hur skulle du vilja se implementering?
5. Hur kändes det att arbeta med HoloLens-enheten?
6. Fungerade programmet?
7. I en situation som ny svetsare tror du att den här formen av instruktioner hade hjälpt dig?
8. Utan räknaren hade du vetat hur många punkter du svetsat?
9. Vad var bra?
10. Vad var dåligt?

F. Resultat från testpersoner

1. Inte direkt men efter handledning 2. Med guidning, behöver lära sig Air Tap 3. Inte utan beskrivning 4. Nja men har lite tidigare erfarenheter. klicket behöver läras.
2. Grundläggande 2. Ja, 3. Ja 4. Ja
3. såg inte punkterna, måste leta efter nästa punkt, snäv synvinkel, liten display 2. welded points följer med, se nästa punkt 3. punkten kan synas bättre 4. Konfirmation på att man klickat så man vet man gått vidare i programmet. Fick leta efter nästa punkt.
4. se nästa punkt innan, större display 2. welded points följer med 3. klarare, se tydligare och mer. 4. Även om man tittar bort ska man se vart man ska gå. Gärna att antal svetsade punkter följer med i blickfånget.
5. Kul, 2. Tung, bra verktyg för stöd 3. Bra 4. Bra lite orolig i fabriksmiljö om den kan lossna eller glida samt vara obekvämlig.
6. Ja, 2. Ja. 3. Fungerade men inte optimalt. 4. Ja
7. Ja, 2. Alla hjälp är bra speciellt för oerfarna, göra mer exakt. Mer hjälp än stjälp 3. Ja. 4. Ja absolut
8. Tror räknaren är bra med många punkter 2. Över 4,5 st kan bli lätt att glömma 3. Ja men bra för att slippa tänka på det. 4. När det blir för många tror jag det kan bli svårt.
9. bra med stöd, förenklade arbetet 2. Animationen, 3. Flöt på bra, bättre än förväntat 4. Att det funka, snyggt gränssnitt, hyfsat precist inte buggigt.
10. programvaran, synfält 2. Punkterna lite fel position, 3. rutnätet i bakgrunden tog plats att få allt lite tydligare och att kunna se mer. 4. Stjärnorna syntes inte och halvsvårt att se vart man ska gå.

Utförde testpersonen i korrekt ordning

JA NEJ

1
1
1
1

Största avstånd som uppmättes mellan svetsade punkter

28mm