



**CHALMERS**

# **DIGITAL LEVERANS AV PROTOTYPER MED HJÄLP AV EXTENDED REALITY**

Ett arbete utfört på Volvo Cars Concept Center

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Design och Produktutveckling

Micke Dang

Silas Oscar Lindqvist Orusild

---

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2021

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





Examensarbete 2021

# DIGITAL LEVERANS AV PROTOTYPER MED HJÄLP AV EXTENDED REALITY

Micke Dang

Silas Oscar Lindqvist Orusild



**CHALMERS**

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

Design och Produktutveckling

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2021

# DIGITAL LEVERANS AV PROTOTYPER MED HJÄLP AV EXTENDED REALITY

Micke Dang, Silas Oscar Lindqvist Orusild

© Micke Dang, 2021

© Silas Oscar Lindqvist Orusild, 2021

Handledare: Hanna Hasselqvist, Chalmers Tekniska Högskola

Christoffer Granér, Volvo Cars

Erik Holm, Volvo Cars

Martin Ödlund, Volvo Cars

Examinator: Pontus Wallgren, Chalmers Tekniska Högskola

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

SE-412 96 Gothenburg

Telefon +46 31 772 1000

Göteborg, Sverige 2021

## Abstract

The content of this report delves into what Concept Center of Volvo Cars needs in order to provide digital prototypes to their internal customers using extended reality systems, such as VR. Concept Center manufactures physical prototypes for many departments at Volvo Cars, and there have been requests for digital prototypes. In order to complete such deliveries Concept Center must obtain knowledge about tools and systems needed for digital prototypes, as well as how they are to proceed in creating a delivery of digital prototypes – meaning the process of how a delivery of digital prototypes for internal customers would look like.

There are several extended reality systems in use at Volvo Cars in different departments that can be used to test and evaluate digital prototypes, but there is no over-arching collaboration of how these systems are to be used, that is up to each department. In this thesis these extended reality systems are analysed for their performances and limitations, and how they are being used in relation to the purpose they have for each department that uses them. This information is used to describe a process for how Concept Center is to proceed in order to make deliveries and digital prototypes for such systems. Many departments are dependent on using physical prototypes, and digital prototypes may not be an obvious replacement for them since tasks may be impossible to do using only digital tools. The process described in this thesis for developing digital prototypes will act as a guide for Concept Center if they were to manufacture digital prototypes and provide supporting systems for them. The process is also applied on one of their customers with their needs taken into consideration.

The objective for internal customers of Concept Center is achieved by completing certain tasks and making assessments, and today physical prototypes are used more widely than digital prototypes. There are possibilities to use digital prototypes instead of, or alongside physical prototypes, using extended reality systems. However, there is no set system that can be used for any and all of Concept Center's customers, each customer has to be analysed and a suitable system must be chosen dependent on their needs. In some cases, digital prototypes are not possible as replacements for physical prototypes. However, there is likely a use for digital prototypes which will help Concept Center's customers achieve their objectives, but unless they actually bring value in their working process they are redundant.

## Sammanfattning

I denna rapport utreds vad som behövs för att Concept Center på Volvo Cars ska kunna göra leveranser av digitala prototyper genom förstärkta verklighetssystem, exempelvis VR, till deras interna kunder på Volvo Cars. Concept Center gör idag fysiska prototyper till många avdelningar på Volvo Cars och det har kommit förfrågningar om Concept Center kan leverera digitala prototyper. För att kunna genomföra sådana leveranser behöver Concept Center kunskap om metoder och system som ska användas till sådana leveranser, samt hur de ska gå till väga för att genomföra dessa leveranser. Det vill säga hur processen att leverera digitala prototyper till interna kunder bör se ut.

Det finns utspridd användning av olika virtuella verklighetssystem på Volvo Cars som kan användas för att utvärdera och testa digitala prototyper, men det finns inget övergripande samarbete eller samordning för hur systemen ska användas. I det här arbetet undersöks dessa system, deras möjligheter och begränsningar, samt hur de används i förhållande till deras syfte för uppgifter som respektive användare har och ligger till grund för en beskrivning på tillvägagångsätt för att göra digitala leveranser till dessa system. Många avdelningar använder och är beroende av fysiska prototyper idag, och att använda digitala prototyper i stället är inte helt självklart då vissa moment inte kan digitaliseras. I arbetet har en process tagits fram för att underlätta för Concept Center hur de ska göra för att arbeta fram digitala prototyper för användning med förstärkta verklighetssystem som deras interna kunder kan använda i sin verksamhet. Processen exemplifieras på en av deras nuvarande kunder idag med hänsyn till identifierade behov hos dem.

Concept Centers interna kunder har mål som ska uppnås genom att lösa vissa uppgifter och göra utvärderingar, och i dagsläget används fysiska prototyper i stor omfattning jämfört med digitala prototyper för det. Det finns dock möjligheter att använda digitala prototyper i stället, eller i samband med fysiska prototyper, med hjälp av system för förstärkt verklighet. Det finns dock inget system som skulle passa alla interna kunder, man måste undersöka vad som är viktigt hos varje kund, och välja metod därefter. I vissa fall är det inte möjligt att ersätta fysiska prototyper med digitala prototyper, och i andra är det kanske inte lämpligt. Det måste finnas ett värde av att använda digitala prototyper, annars blir de bara ett ytterligare moment som kräver tid och resurser i arbetet.

## Förord

Detta examensarbete är den sista delen av högskoleingenjörsprogrammet inom Design och Produktutveckling vid Chalmers Tekniska Högskola och omfattar 15 högskolepoäng. Examensarbetet genomfördes på Volvo Cars Concept Center under våren 2021.

Först och främst vill vi tacka vår handledare Hanna Hasselqvist från Chalmers för hennes utmärkta vägledning och aktiva stöd under hela arbetet. Vi vill också tacka vår examinator Pontus Wallgren som har hjälpt till och stöttat oss under arbetets gång.

Stort tack till våra handledare Christoffer Granér och Martin Ödlund från Volvo Cars som har väglett och gett oss god rådgivning under hela våren. Vi vill även tacka vår uppdragsgivare Erik Holm från Volvo Cars för ett intressant och utmanande arbete.

Slutligen vill vi tacka alla medarbetare från Volvo Cars som ställt upp på intervju. Alla intervjuer var väldigt lärorika och har bidragit till stora delar av examensarbetet.

## Förkortningslista

AR – Augmented Reality

DoF – Degrees of Freedom

HMD – Head Mounted Display

IR – Infraröd strålning

MR – Mixed Reality

VR – Virtual Reality

XR – Extended Reality

## Definitioner

Bloom: En bildeffekt för att efterlikna diffraktion från ett ljust område till ett mörkt.

Buck: En fysisk prototyp av en bil för utvärdering av olika funktioner

Extended Reality: ett samlingsnamn för tekniker som förlänger verkligheten med digitala element t.ex. VR och AR.

Head-Mounted Display: en enhet som bärs på huvudet eller är en del av en hjälm och har en eller flera bildskärmar framför ögonen.

Immersion/immersiv: Uppfattningen av att faktiskt befinna sig fysiskt i en virtuell miljö

Kalibrering: Att likställa ett eller flera värden efter ett referensvärde.

Keyframing: Animering med hjälp av keyframes, en tidpunkt i animeringen som objekt ska befinna sig på en specifik position med en specifik rotation.

Motion Blur: En bildeffekt för att efterlikna rörelse i förhållande till betraktaren.

Polygoner: Trådfigur som innesluter ytor som ska renderas i digital miljö.

Stereoskopisk: en visuell effekt som skapar intrycket av att olika delar i en bild finns på olika avstånd från betraktaren.

# Innehållsförteckning

1	Inledning	13
1.1	Bakgrund & Problemformulering	13
1.2	Syfte och mål	14
1.3	Avgränsningar	14
2	Immersiv teknik - sammanställning	15
2.1	Allmänt om XR och XR-system	15
2.2	Olika XR-system	18
2.3	Digitala miljöer för visualisering	20
2.4	XR-användning i industriell miljö	21
3	Metod och genomförande	24
3.1	Intervjuer	24
3.2	Studiebesök	25
3.3	KJ-analys	26
3.4	Process för utveckling av XR-system & för utvärdering samt tillverkning av digitala prototyper	26
3.5	Applicering av process	27
4	Resultat	28
4.1	XR-system på Volvo Cars	28
4.1	Process för utveckling av XR-system & digitala prototyper	36
4.2	Applicering av processen på Ergonomiavdelningen	49
5	Diskussion	53
5.1	Diskussion av resultat	53
5.2	Hållbarhetsperspektiv	58
6	Slutsats	60
	Källförteckning	61
	Bilaga 1 – Intervjufrågor	63



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund & Problemformulering

Volvo Cars har en avdelning som heter Concept Center som bland annat arbetar med att tillverka prototyper till interna kunder på Volvo Cars, bland andra designavdelningen som arbetar med att designa nya bilmodeller. Concept Center arbetar med en stor variation på prototyper och kan tillverka många olika typer av prototyper baserat på avsett användningsområde. Exempelvis tillverkar de prototyper för ergonomisk utvärdering, aerodynamiska tester, och för monterings tester. Prototyperna kan vara väldigt komplexa eller enkla eftersom deras verkstad har många tillverkningsmöjligheter. Innan prototyperna tillverkas fysiskt görs först digitala modeller baserat på underlag som de får från Volvo Cars interna kunder. Det finns en önskan internt på Volvo Cars att detta kunde kompletteras med att Concept Center även gjorde digitala prototyper vilket de inte gör idag. Detta för att man vill förenkla och effektivisera designprocessen av nya bilar och kombinera olika avdelningars behov avseende prototyper.

I dagsläget gör designavdelningen på Volvo Cars ett så kallat designläpp, en digital samling information som innehåller all information om hur en framtida bil är tänkt att vara utformad som övriga avdelningar sedan kan göra sina utvärderingar, tester, och kontroller på. De avdelningar som behöver göra fysiska tester baserat på designläppet kan använda Concept Center för att få en fysisk prototyp som de kan utföra testerna på. De arbetar tillsammans med Concept Center för att göra geometrier som är tillverkningsbara och som har rätt egenskaper som krävs för de specifika testerna. Prototyperna levereras då antingen som enskilda komponenter, eller i form av en "buck", en mer omfattande prototyp som innehåller många komponenter.

Leveranser av digitala prototyper kan ske snabbare än fysiska prototyper som måste tillverkas och monteras innan de kan användas av kunderna. Digitala prototyper kan då skickas som digitala filer antingen med en extern minnesenhet, eller via deras fildelningssystem Teamcenter. Då Concept Center har många interna kunder med olika krav på prototyper och behov internt behöver digitala prototyper uppfylla dessa krav och behov för att kunna användas av kunderna.

Efter önskan internt på Volvo Cars om att få digitala prototyper har Concept Center börjat undersöka om det är möjligt för dem att göra leveranser av digitala prototyper. För att kunna leverera digitala prototyper krävs bland annat användning av digitala verktyg som Concept Center i dagsläget inte använder. Ett sådant verktyg är olika XR-system som kan anpassas utifrån kundernas olika behov. XR är en akronym för Extended Reality och är ett samlingsnamn för tekniker som förlänger verkligheten med digitala element som VR (Virtual Reality) och AR

(Augmented Reality). Concept Center har tillverkat två buckar för arbete med digitala prototyper i Extended Reality till Design- samt Ergonomiavdelningen på Volvo Cars, men har inte gjort de digitala prototyperna som används eller varit delaktig i installation och användning av systemet som man arbetar med de digitala prototyperna i.

Som ett första steg att närma sig arbete med digitala prototyper har Concept Center ett intresse av att veta möjligheterna och begränsningarna med att använda XR-system för att tillhandahålla digitala prototyper. Concept Center har även intresse av att veta gapet mellan önskemål och möjlighet till leveranser av digitala prototyper i XR-system, det vill säga vilka kompetenser som de saknar för att kunna tillhandahålla digitala leveranser, samt hur en process för att leverera digitala prototyper med XR-system kan se ut.

## 1.2 Syfte och mål

Syftet med arbetet är att ge Concept Center på Volvo Cars en startpunkt för att arbeta med XR-system och digitala prototyper. Det innebär att undersöka vilka kompetenser som Concept Center behöver för att göra digitala prototyper, hur de ska sammansätta XR-system till deras kunder som önskar arbeta med digitala prototyper, hur de ska integrera XR-system för arbete med digitala och fysiska prototyper, samt att förklara hur Concept Center ska arbeta för att utveckla XR-system för arbete med digitala prototyper och fysiska prototyper till deras kunder med varierande behov och olika uppgifter.

Målet med arbetet är att förse Concept Center med:

- En process över hur de bör göra för att utveckla leveranser av digitala prototyper och tillhörande XR-system för att arbeta med de digitala prototyperna.
- Ett exempel på hur processen kan appliceras på en intern kund på Volvo Cars för att utveckla ett passande XR-system och ta fram digitala prototyper.
- Vilka kompetenser som behövs för att kunna göra leveranser av digitala prototyper till interna kunder.

## 1.3 Avgränsningar

Arbetet kommer inte att ge exakta förslag på vilka metoder och system som är bäst lämpade för specifika digitala prototyper och tillhörande XR-system, och kommer bara att omfatta XR-system baserade på HMD-enheter. Arbetet kommer inte heller att undersöka hur specifika uppgifter hos interna kunder till Concept Center som idag använder fysiska prototyper ska digitaliseras för användning med digitala prototyper.

## 2 Immersiv teknik - sammanställning

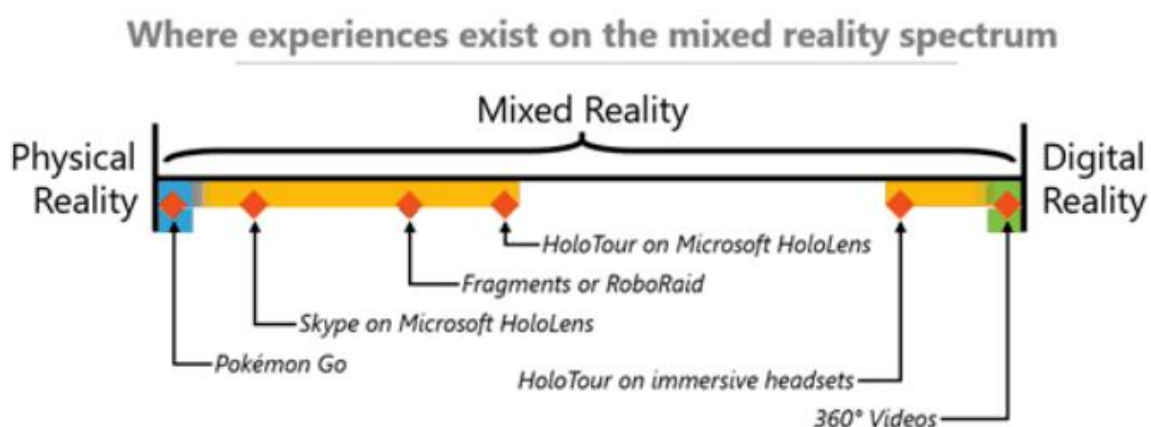
I det här avsnittet förklaras några begrepp kring immersiv teknik och förstärkt verklighet samt hur det används i industriell omfattning. Med förstärkt verklighet avses i det här arbetet system som med hjälp av digital teknik skapar en digital miljö som upplevs verklig.

### 2.1 Allmänt om XR och XR-system

En teknologi som växt kraftigt de senaste åren i ljuset av digitaliseringen är vad som i ett samlingsbegrepp går under XR (Extended Reality) eller på svenska benämnd som immersiv teknik. (Johansson, 2018) Immersiv teknik syftar till olika tekniker och metoder som luckrar upp gränsen mellan vad som är digitalt och vad som är fysiskt. Det blir med hjälp av dessa tekniker möjligt att visualisera och uppleva händelser digitalt så som om det vore fysiskt. Ett exempel på en form av immersiv teknik är PokemonGo, ett app-baserat interaktivt spel för mobila enheter som placerar digitala objekt i verkligheten och tillåter spelare att interagera med de digitala objekten. PokemonGo är en väldigt simpel användning av immersiv teknik och lägger på visuella digitala element på en bild av verkligheten utan att ta hänsyn till den. Det finns mer avancerade appliceringar, och andra variationer av immersiv teknik.

Som nämnt är immersiv teknik ett samlingsbegrepp på olika tekniker som handlar om att skapa olika typer av verklighet. Inom samlingsbegreppet är det framför allt tre olika typer av tekniker och metoder som används:

- Virtual Reality (VR)
- Augmented Reality (AR)
- Mixed Reality (MR)



Figur 1: Hur Mixed Reality blandar verkliga och digitala element. Immersiv teknik, spektrum (hämtad från: <https://www.immersivt.se/mixed-reality-problematisk-term-vr-ar/> )

## Virtual Reality

VR, Virtual Reality är ett datorgenererat scenario som är till för att simulera en miljö så att den upplevs så lik verkligheten som möjligt. Med detta system kan användare uppleva att den virtuella miljön de befinner sig i är verklig. Miljön är helt digital, och har inte några element från verkligheten i VR-miljön, alla element genereras och renderas digitalt. VR behöver externa kontroller för att kunna manipulera och orientera miljön man befinner sig i, antingen med hjälp av någon annan som sitter vid datorn som miljön renderas från och styr användaren eller miljö, eller med kontroller som en användare håller i. Oftast används ett par VR-glasögon, en HMD-enhet (Head Mounted Display), som visuell input för en användare, men det finns andra system för att uppleva XR-miljöer.

VR-glasögon är ett slags visirliknande föremål som man placerar på huvudet och visar en bild av en digital miljö som renderas. Med optik och två displayer, en för varje öga, så skapas en tredimensionell upplevelse för användaren. I HMD-enheten finns ofta en accelerometer samt spårningssystem, detta gör att mjukvaran har möjligheten att kunna lokalisera användaren mer precist var den befinner sig i den virtuella miljön när den rör sig i verkligheten. Med hjälp av accelerometern kan också det grafiska synfältet styras genom att vrida på huvudet, detta leder till ett förstärkt intryck och en mer verklighetstrogen upplevelse för användaren (VRS, 2017).

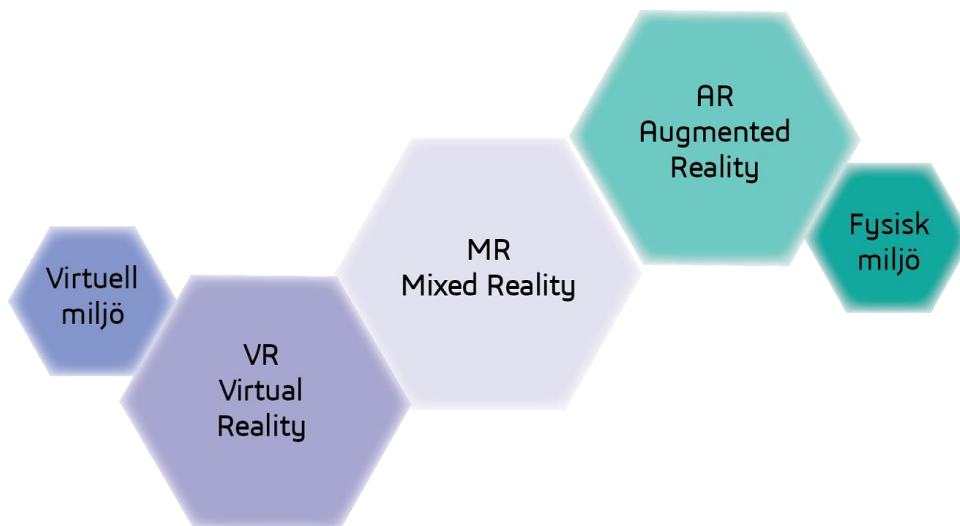
## Augmented Reality

AR, Augmented Reality, är system som använder verkligheten som grund och därefter lägger på digitala inslag som renderas i realtid. (Irvine 2017) För att använda AR korrekt med HMD-enheter behöver de vara korrekt kalibrerade jämfört med verkligheten så att objekt i den digitala miljön också upplevs hamna på rätt plats i den fysiska miljön. I övrigt så påminner AR mycket om VR, men eftersom AR byggs på verkligheten brukar andra gränssnitt användas för AR-system jämfört med VR-system.

## Mixed Reality

MR, Mixed reality, är system som använder eller utnyttjar både VR- och AR-funktioner för att skapa en blandad verklighetsmiljö, i figur 1 ges exempel på tillämpningar med MR och vad de grundar sig i, fysisk verklighet eller digital miljö. (Irvine 2017) Alla system behöver något slags gränssnitt för att de ska kunna användas och HMD-system är det vanligaste sättet just nu. Det finns många olika produkter och tillverkare av HMD-system, och de fungerar ungefär på samma sätt; att projicera en bild framför ögonen som ska upplevas som en förlängd eller alternativ

verklighet. Hur man sen kan röra sig i miljön beror på vilken funktion som varje HMD-system har.



Figur 2: Skillnaden mellan de olika teknikerna är att VR utgår ifrån att en virtuell miljö, AR är baserad på en fysisk miljö och Mixed Reality är en blandning av VR och AR som kan nyttja delar av båda systemen i kombination.

### Frihetsgrader (Degrees of Freedom)

Ett sätt att gradera hur stor frihet som man kan röra sig med inuti i ett XR-system är "Degrees of Freedom" (DoF), frihetsgrader. Med 3 DoF avses rotation i alla axlar, och är något som generellt finns i alla HMD-enheter som används för virtuell verklighet. Detta betyder att när man använder ett headset och vrider eller lutar på huvudet så kommer det att upplevas som att den virtuella miljön står kvar som ursprungligen, d.v.s. som det gör i verkligheten när man vrider eller lutar på huvudet. (Google Developers, 2018). Med 6 DoF avses rotation i alla axlar samt translation i alla axlar, d.v.s. att man kan förflytta sig åt alla håll. Olika HMD-system har olika lösningar på detta; exempelvis mobiltelefoner kompatibla för VR använder sig av gyroskopet och accelerometern i mobilen för att tillåta tre frihetsgrader, rotation kring alla axlar. (What is a 3 DoF vs 6 DoF in VR?, u.å.) För att röra sig i den digitala miljön behöver man då externa kontroller som tillåter tre ytterligare frihetsgrader, translation i alla axlar. Många HMD-system använder sig av externa basstationer som spårar sensorer i HMD-enheten med hjälp av optisk eller IR-spårning. Detta gör att man inte behöver externa kontroller för att kunna röra sig i den digitala miljön, genom att röra sig i den fysiska miljön så triangulerar basstationerna positionen och translaterar positionen till den digitala miljön. Ett annat sätt som används i HMD-system för att positionera användaren i digital miljö är att scanna av rummet med en kamera monterad på en HMD-enhet som därefter bygger upp en 3D-karta över rummet som den sedan använder för att förhålla sig till med 6 DoF.

## 2.2 Olika XR-system

I det här avsnittet beskrivs olika XR-system som vi har kommit i kontakt med på Volvo Cars under arbetet.

### CAVE

En VR-teknik från 90-talet som har använts på Volvo Cars är CAVE. CAVE är en förkortning för Cave Automatic Virtual Environment och är en teknik för att kunna simulera en virtuell verklighet. (Visbox,2020). CAVE körs igång genom att en användare står i centrum av ett tomt rum i form av en kub, där ytorna som väggar, golv och tak används som projektionsskärmar för att skapa en stark immersion i en virtuell miljö. Bilderna på varje vägg är även stereoskopiska, vilket gör att det skapar en illusion av 3D på en platt yta. Användaren har stereoskopiska glasögon och interagerar med visuella verktyg som till exempel ändamålsenliga handskar, joysticks eller andra styr- eller kontrollenheter. Då CAVE är ett rumsstort 3D-visualiseringssystem möjliggör det att flera tittare tillsammans kan undersöka och utvärdera komplexa 3D-modeller med hjälp av projektionsskärmarna.

Denna teknik har vissa begränsningar, bland annat är den betydligt mindre portabel än HMD-enheter. Eftersom projektionsskärmarna är längre bort än HMD-enheter som sitter precis vid ögonen, så blir också den upplevda pixeltätheten mycket sämre.

### HTC Vive

HTC Vive är en VR-plattform med HMD system som tillverkas av HTC Corporation (High Tech Computer Corporation). HMD-enheten har en upplösning på 1080 x 1200 pixlar per öga, och ett synfält på 110 grader. (HTC, 2021). I VR-plattformen ingår också handkontroller, se figur 3. HTC Vive använder Lighthouse, en IR-sändar-basstation, för att kunna spåra och positionera HMD och kontrollernas enheter med hjälp av deras inbyggda sensorer.



Figur 3: HTC Vive med kontroller och basstationer. HTC. (2021), Hämtad från: <https://www.vive.com/us/product/vive-virtual-reality-system/>

HTC Vive använder två basstationer, som i detta system kallas Lighthouse, för att kunna spåra och positionera HMD och kontrollernas enheter med hjälp av deras inbyggda sensorer. Basstationerna skickar ut infraröd strålning i kontinuerliga pulser, en i horisontell led, den andra i vertikal led, med en frekvens på 60 Hz. (Lang, 2017) Enheterna fångar upp pulserna och

systemet räknar då ut var enheterna befinner sig i rummet. Systemet gör det möjligt att täcka spårning i 360 grader och upp till ett 21 kvadratmeter stort rum.

### Varjo XR-1

Varjo XR-1 är en HMD-enhet som är kapabel till MR. I grunden är det en VR-HMD-enhet, men med kameror som kan spela upp vad som finns i den fysiska miljön direkt i HMD-enheten. (Varjo, 2019) Varjo XR-1 systemet tillåter också olika typer av spårning, både med basstationer som spårar, och med de inbyggda kamerorna. Enheten medger en hög kvalitet på Mixed Reality med hög streaming bandbredd som gör det möjligt för användaren att kunna se digitala objekt i verklighetstrogen färg, skuggning samt belysning i ett brett synfält. Varjo XR-1 har två 90 Hz skärmar, en för varje öga, och varje skärm består av en 1920x1080 micro-OLED display samt en 1440x1600 AMOLED display. Det horisontella synfältet som uppnås är 87 grader. Varjo XR-1 har mycket hög upplösning för att möjliggöra visuell blandning, där man kan växla mellan Mixed Reality samt full Virtual Reality i syfte att interagera med både den verkliga samt virtuella världen och enheten har även stöd för 100 Hz ögonspårning. (LBX Immersive, 2020)

### Valve Index

Valve Index är ett VR-HMD-system som tillverkas av Valve Corporation. (Valve Software, 2021) HMD-enheten har två 1440 X 1600 RGB LCD paneler som kan användas med en uppdateringsfrekvens på 120 hz, och med ett experimentellt läge upp till 144 Hz. HMD-enheten har ett horisontellt synfält på 130 grader för virtuella bilder. Det finns även högtalare inbyggda i enheten som kan vridas ner från headsetet mot användarens öron, se figur 4. Högtalarna sitter inte direkt på öronen för att låta ljudet flöda fritt och interagera med formen mellan öronen som ger ett mer immersivt ljud jämfört med hörlurar. (Valve Software, 2021). Valve Index använder SteamVR som spårningssystem för en användare som möjliggör ett användningsområde på upp till 10 x 10 meter med fyra basstationer som spårar HMD-enheten.

### Microsoft HoloLens

Microsoft har utvecklat en typ av elektroniska smarta glasögon, HoloLens, som är trådlösa. (Microsoft, 2021) Denna HMD-enhet projicerar den virtuella miljön på insidan av glasögonen och



Figur 4: Öronhögtalare för Valve Index. Hämtad från: <https://www.valvesoftware.com/sv/index/deep-dive/ear-speakers>

skapar på så sätt en AR-miljö för användaren. En funktion med HoloLens är att flera användare kan med varsin HoloLens dela samma AR-miljö.

Microsoft HoloLens använder fyra inbyggda kameror för synligt ljus samt två IR-kameror för att spåra sin position, och för att spåra upp rörelser och rotationer används en inbyggd magnetometer, accelerometer samt gyroskop. Med detta skapar HMD-enheten en karta av miljön den befinner sig i och uppdaterar sin position när den ser eller känner av rörelse. Microsoft HoloLens har även inbyggd mikrofon och högtalare som tillåter röststyrning för att interagera med digitala objekt i en virtuell miljö. Användaren säger ett kommando och systemet utför kommandot på det objekt som interageras med. För att välja objekt i den digitala miljön kan man antingen använda fingergester framför HMD-enhetens kamera, eller aktivera en pekare som gör att man kan välja bara med blicken och röstkommando.

### 2.3 Digitala miljöer för visualisering

Dessa mjukvaror används på Volvo Cars på olika avdelningar för att förbereda och arbeta med digitala modeller. Det finns många fler mjukvaror som används, men dessa är relevanta för att förstå arbetet.

#### DELTAGEN

3DEXCITE DELTAGEN är ett visualiseringsprogram för digitala 3D-modeller. Oftast används detta för slutgiltig rendering av modeller inför kommersiell uppvisning (3DEXCITE DELTAGEN, 2021). Programmet kan hantera många typer av 3D-filer till modeller och har funktioner för att behandla 3D-modeller direkt, bland annat genom att reducera polygoner i modeller, och ändra material. Det finns även funktioner för att använda VR-system direkt med DELTAGEN.

#### Unity

Unity är en utvecklingsmiljö samt spelmotor med spelutvecklare som målgrupp, utvecklad av Unity Technologies. 52% av de 1000 största mobilspelen samt mer än 60% av världens AR/VR appar är byggda i Unity (Dealessandri, 2020). Syftet med Unity är att förenkla utveckling av mjukvara såsom spel, men även andra upplevelser och simulationer, t.ex. så användare kan uppleva 2D eller 3D virtuella miljöer i realtid. I Unity finns både grundläggande samt mer avancerade funktioner för olika ändamål. Detta bidrar till en iterativ process där man kan börja med en enkel prototyp (via t.ex. drag-and-drop) som man sedan kan förbättra. För mer avancerad utbyggnad av programmet kan man skriva egen kod genom t.ex. programmeringsspråket C#.

Funktionerna programmeras via script som sedan anropas av motorn att köras. Fördelen med detta är att funktionerna kan vara väldigt avancerade och tillåter en stor frihet i hur man kan interagera med en prototyp, men det är upp till utvecklaren själv att skriva funktionerna.

Den miljö som används för att visa upp visuella element kallas för scen. Scener har man stor frihet över att styra, bland annat vilka digitala element som ska vara med, till exempel ljus, reflektioner, och bakgrund. Precis som med 3D-modeller kan scener sparas och delas med andra digitalt.

## VRED Autodesk

VRED Autodesk är ett 3D visualisering- och virtuell prototyp-programvara inriktat för användning inom fordonsindustrin (Autodesk, 2021). Programmet har funktionen att importera CAD modeller och lägga till bland annat material, bakgrunder, och ljuskällor. Dessutom så går det att optimera digitala modeller i VRED Autodesk; bland annat att ändra normalorientering och att radera geometrisk information som rotation, förflyttning eller sammanslagning av ytor.

Programmet kan användas för att exempelvis utforska olika modellkombinationer; med drag- and-drop funktioner möjliggörs enkla förändringar av till exempel dörrar eller fälgar i en digital modell. Man kan även göra mer avancerade funktioner i programmet med script programmerade i Python; till exempel funktioner inom virtuell verklighet som att interagera med pekskärmar. Det finns också animeringsfunktioner med keyframing och vissa bildbehandlingstekniker såsom motion blur samt bloom. Animationerna kan appliceras på specifika delar som dörrar eller hjul, men även på hela modellen, exempelvis till att få en hel modell att röra sig.

## 2.4 XR-användning i industriell miljö

Utveckling och applicering av ny teknik har haft en stor påverkan för framgång inom biltillverkningsindustrin som kräver kortare tid från utveckling av bilar till marknad och högre kvalitet på produkterna. (Kim et al., 2011) VR är en teknik som kan hjälpa till med detta då tekniken kan användas inom många områden för utvärdering och utveckling, bl.a. design. Som exempel; en fysisk mockup eller prototyp behöver byggas om vid ett designfel eller ändringar i design, i digitala prototyper behöver ändringarna bara göras digitalt. En utvärderingsprocess med digitala prototyper kommer på så sätt igång igen snabbare, särskilt om digitala prototyper behövs för tillverkningen av fysiska prototyper. Möjligheten att jobba på olika platser då digital media enkelt går att dela är också en stor fördel, då alla involverade parter inte behöver befinna sig på samma plats fysiskt. Behovet av att bygga fysiska prototyper kan minska med hjälp av VR

när det används för utvärdering av prototyper då tiden för att bygga fysiska prototyper ofta är avgörande i utvärderingsprocessen.

## Fysisk återkoppling i digital miljö

I en undersökning som gjordes på en annan biltillverkare intervjuades anställda som arbetade med deras VR-system, och det uttrycktes från deltagarna att många problem fanns. Bland annat var avståndsuppfattningen problematisk på grund av dålig kalibrering, att färgåtergivning var skrikig, samt att avsaknaden av fysisk återkoppling vid provmontering av delar gjorde det svårt att uppfatta om delarna sitter på en bra plats eller inte. (Lawson, Salantitri, Waterfield, 2015) Fysisk återkoppling framförs som extra viktig vid utvärdering, då vissa uppgifter inom montering inte skulle vara möjliga att genomföra utan fysisk återkoppling. Fysiska prototyper är att föredra då den haptiska återkopplingen man får tydliggör vad som händer på flera sensoriska plan, som syn och känsel. Ett annat sinne som kan påverka upplevelsen i VR är ljud. Att få en ljudlig återkoppling vid interaktion mellan komponenter i den digitala miljön är då till hjälp för att få en förstärkning om vad som händer vid interaktion.

## Immersion och uppfattning

Ett XR-system som är tillräckligt immersivt gör att man reagerar som om det som händer i den digitala miljön faktiskt i verkligheten. (Slater, 2009) En digital miljö som simulerar verkligheten tillräckligt när man interagerar med den förmedlar känslan av immersion, och ju närmare den simulerar verkligheten desto större blir immersionen. Miljöer i VR-system kan med bra simulering uppfattas som mer realistiska än miljöer som visas på datorskärm, men interaktioner måste vara realistiska. Exempelvis krockar mellan objekt måste visas på ett sätt som är väldigt tydligt för att en användare ska uppfatta interaktionen som naturlig och minska åksjuka-effekter. Även hur man rör sig i ett XR-system måste verka realistiskt för att inte bryta immersionen som kan leda till åksjuka.

Det är många faktorer som kan påverka en användare i XR-system vad gäller åksjuka, bland annat tillståndet hos användaren själv men också tekniska aspekter i det system som används samt den renderade digitala miljön. (IEEE, 2021) Beroende på hur immersivt systemet är, desto mer påverkar händelser i ett VR-system som avviker från verkligheten. Om bilden inte uppdateras korrekt efter vad som förväntas, exempelvis om man rör på huvudet, så kan det leda till åksjuka om man upplevt immersion i den digitala miljön. Därutöver är visuella element för orientering väldigt bra för att minska åksjuka i VR-miljöer, exempelvis golv och bakgrund.

Det viktigaste med virtuella verktyg är dock inte att ha hög visuell realism och total immersion, utan att de bidrar med information som är av relevans för utvärdering. (Aromaa & Väänänen, 2015) Då båda systemen använder digitala element kan de användas till liknande uppgifter. Med AR-system kan man lägga på en digital miljö på en verklig miljö, men då blir man hindrad av fysiska begränsningar från den verkliga miljön. VR-system har då fördelen att allt är digitalt, och man kan röra sig fritt i den digitala miljön.

I ett experiment för att undersöka hur rymduppfattningen är i en virtuell miljö kom man fram till att det är en låg felmarginal vad gäller spatial uppfattning för objekt inom några meter (Moehring, Gloystein, Doerner 2009). Hårdvaran för experimentet var av betydelse för resultatet, framförallt storleken av den HMD-enhet som användes, men även att bilden i linserna skulle kunna vara felaktig. Den felmarginal de uppmätte hos deltagarnas spatialförmåga för testet var något högre jämfört med en kontrollgrupp som de hade genomfört ett likadant test med i enbart verklig miljö.

## 3 Metod och genomförande

### 3.1 Intervjuer

För att fastställa hur Concept Center arbetar och deras kunskaper inom avdelningen genomfördes ostrukturerade intervjuer med två konceptingenjörer från Concept Center som arbetar inom tillverkningsprocessen för fysiska prototyper. En av dem hade även erfarenhet från projektplanering, ett team på Concept Center som planerar med kunderna hur prototyper ska tillverkas. Dessa intervjuer hade som mål att undersöka Concept Centers interna kompetenser för digitala prototyper och hur arbetet med att tillverka fysiska prototyper ser ut i dagsläget.

Utöver på Concept Center genomfördes även intervjuer på andra avdelningar, och två målgrupper var av intresse för intervjuerna som genomfördes; den första målgruppen är personer som arbetar med XR. Intervjuerna var då till för att ta reda på möjligheter och begränsningar med XR som verktyg för att arbeta med prototyper, hur de arbetade med XR-system, samt om processen skulle kunna vara relevant för Concept Center för tillverkning av digitala prototyper.

Den andra målgruppen var Concept Centers kunder, där målet med intervjuerna var att ta reda på varför man beställer en fysisk prototyp, undersöka kraven som ställs på en prototyp, och vad deras mål med arbetet av prototypen är. Informationen från dessa intervjuer användes för att hitta vilka krav som skulle komma att kunna ställas på digitala prototyper, samt att undersöka vilka behov som kan tillgodoses med digitala prototyper och XR-system.

Intervjuerna genomfördes via Volvo Cars interna Teams-system samt på Volvo Cars Torslanda i samband med tester av XR-system på avdelningarna. Intervjuerna som inte gjordes i samband med testerna var semistrukturerade för att öppna upp till diskussion med den intervjuade och låta vederbörande utveckla sina tankar kring frågorna, samt för att kunna ställa motfrågor till svaren. Intervjuerna spelades in för att inte behöva ta omfattande anteckningar under intervjun som tog fokus från själva intervjun.

Intervjuerna i samband med testerna var ostrukturerade och spelades inte in. De var ostrukturerade för att vara så öppna som möjligt så att de intervjuade personerna kunde prata fritt om vad de ansåg var relevant och viktigt i sammanhanget. Intervjuerna avsåg inhämta information kvalitativt, och totalt gjordes 11 semistrukturerade intervjuer och 4 ostrukturerade intervjuer, se bilaga 1 för intervjufrågor och tabell 1 för intervjupersoner.

Yrkesroll	Avdelning	Antal intervjuer
Visualiseringsingenjör 1	Designvisualisering	2 Semistrukturerade intervjuer
Visualiseringsingenjör 2	Designvisualisering	1 Semistrukturerad intervju
Simuleringsingenjör	Mixed Reality Lab	1 Semistrukturerade intervju
Analysingenjör 1	Ergonomi	1 Ostrukturerade- och 2 Semistrukturerade intervjuer
Analysingenjör 2	Ergonomi	1 Semistrukturerad intervju
EgenskapsErgonomi	Ergonomi	2 Semistrukturerade intervjuer
XR-ingenjör	Human Centric Lab	1 Ostrukturerad- och 2 Semistrukturerade intervjuer

Tabell 1: Intervjupersonerna från de två målgrupperna utanför Concept Center presenterade efter yrkesroll, avdelning, och antal samt typ av intervju:

### 3.2 Studiebesök

Studiebesök gjordes på Concept Centers samt några av de avdelningar som använder XR-metoder på Volvo Cars. Studiebesöken på Concept Center gjordes för att samla information om arbetet med prototyper på Volvo Cars och Concept Centers roll inom Volvo Cars.

Studiebesök gjordes också på Designvisualisering, Ergonomi, Human Centric Lab, och Mixed Reality Lab. Studiebesöken som genomfördes med flera målsättningar:

- Att samla information om målet med arbetsuppgifterna och val av XR-system på respektive avdelning.
- Att hitta samband mellan metoder som används och uppgifter som ska lösas på respektive avdelning.
- Att testa XR-systemen som användes på respektive avdelning och få en uppfattning om möjligheter samt begränsningar med dem.

Studiebesöken pågick ca en timme vardera och tre olika HMD-system användes; Microsoft HoloLens på Mixed Reality Lab, Valve Index på Designvisualisering, och Varjo XR-1 på Ergonomiavdelningen samt Human Centric Lab. Varje avdelning hade en egen XR-miljö

förberedd som gav oss en uppfattning om prestanda och immersion för de digitala miljöerna samt XR-hårdvarusystemen.

### 3.3 KJ-analys

En KJ-Analys utfördes för att kunna strukturera och överblicka informationen från intervjuer. Metoden för KJ-analys görs genom att samla ihop data från olika källor på lappar och sortera dem för att hitta mönster eller relationer mellan olika datapunkter och källor. KJ-analysen genomfördes digitalt och i tre steg av sorteringar av data för att hitta relevanta mönster i datan. Den data som analyserades var utdrag från intervjuer, direkta citat och sammanfattade tankar, samt idéer som har framkommit från intervjuer och tester. I ett första steg sorterades data utefter om det var relevant för arbetet och inom vilket område det skulle vara relevant. I nästa steg klassificerades datan utefter om det var behov, möjligheter, eller begränsningar, och i ett sista steg sorterades datan utefter vilket område som de kan bidra till idéer och tankar för att utveckla en beskrivning med hänsyn till den data som samlades in.

Med hjälp av kartläggningen från KJ-analysen gjordes en induktiv analys med hänsyn till informationen som presenterades i avsnitt 2. Kopplingar mellan problem och idéer kring arbete med immersiv teknik hos de intervjuade parterna kunde göras, och stöd för både begränsningar och möjligheter med XR-system klargjordes bättre med stöd från två källor.

### 3.4 Process för utveckling av XR-system & för utvärdering samt tillverkning av digitala prototyper

Med hjälp av den insamlade och analyserade informationen samt idégenerering på möjliga behov vid användning av XR-system gjordes en process för utveckling av XR-system för utvärdering samt tillverkning av digitala prototyper. Svaren från tidigare intervjuer låg till grunden för processen. För att inte göra processen för smal och riktad mot användare av XR-system som finns på Volvo Cars idag idégenererades tänkbara begränsningar som skulle kunna finnas hos Concept Centers interna kunder. Begränsningarna baserades på verksamheterna som besöktes och en eller flera aspekter ändrades för att simulera en annan avdelning och på så sätt skapa annorlunda behov på ett XR-system.

Under utvecklingen av processen sattes även svaren från intervjuerna i ett större sammanhang för att förstå vad de bakomliggande orsakerna till problemen var. Bl.a. arbetssätt, metoder, problem, och behov som framkom från intervjuerna granskades och ställdes i flera perspektiv för att ifrågasätta om de uttryckta problemen hade underliggande orsaker. Då några osäkerheter uppstod kring sammanhangen för svaren från de tidigare intervjuerna gjordes en kompletterande intervju för att förtydliga dessa.

### 3.5 Applicering av process

För att konkretisera resultatet och exemplifiera det gjordes en applicering av processen på en kund till Concept Center, Ergonomiavdelningen. Processen är utformad för generell användning och introducerar komplicerade problem och ställningstaganden. I exemplet kan läsaren lättare följa resonemang och val baserade på processen som ger exempel på lösningar på identifierade problem och behov. Ergonomiavdelningen valdes som exempel för applicering av processen då de arbetar med både fysiska och digitala prototyper och har uttryckt en vilja att integrera digitala prototyper än mer i arbetet.

## 4 Resultat

Concept Center vill få större kunskaper inom både XR-system och digitala prototyper för att kunna tillhandahålla dessa till interna kunder som efterfrågar det. I dagsläget saknar de kompetenser för det, och efter undersökning av de avdelningar som arbetar med XR-system och digitala prototyper på Volvo Cars idag hittades ingångspunkter för hur Concept Center ska angripa utveckling av XR-system och tillverkning av digitala prototyper. I följande avsnitt redovisas de resultat kring Volvo Cars arbete med XR-system som vi fick fram från genomförandet av arbetet med de metoder som redogjorts för i avsnitt 3.

### 4.1 XR-system på Volvo Cars

Det har framgått att Volvo Cars internt arbetar med XR-system på flera avdelningar däremot saknas ett övergripande samarbete kring användandet av XR-system de olika avdelningarna. En av avdelningarna som använder olika typer av XR-system är Human Centric Lab som bland annat arbetar med människa-maskin-interaktion inom Volvo Cars. De använder XR-system för att testa nya innovationer och appliceringar av teknik. De har även utvecklat egna metoder och produkter för användning med XR-system, bland annat ett system som tillåter dem att testköra riktiga bilar där en HMD-enhet används för att lägga in digitala element under körningen. Vid test av XR-utrustning i samband med studiebesöken var det flera saker som blev väldigt tydliga för oss från intervjuerna, bland annat problem med kalibrering, krav på bildkvalitet, och generell användning av HMD-enheter och XR-system. Human Centric Lab har också stöttat andra projekt på Volvo Cars, bland annat har de hjälpt Ergonomiavdelningen med att implementera och installera hårdvara och mjukvara i en VR-buck för utvärdering av sikt, men det finns flera andra XR-system på Volvo Cars som de inte varit involverade i. Ett exempel är CAVE-systemet, ett äldre system som tar mycket mer plats jämfört med HMD-enheter som de flesta avdelningar numera använder.

Under besöket till Designvisualisering fick vi se både VR-bucken som Concept Center hade byggt och det utdaterade VR-CAVE-systemet, men bara möjlighet att testa VR-bucken. En slående aspekt med CAVE-systemet var storleken, det behövdes flera rum för att möjliggöra systemet med all hårdvara, något som gjorde det uppenbart att HMD-lösningar för XR-system är betydligt smidigare.

På Designvisualisering är det en hög omsättning på skisser och modeller som ska visas i en XR-miljö, och för att hinna med volymen så förbereds modellerna väldigt snabbt i miljöer. Ett pris för det är att utseendet på modellerna blir sämre, men för design tillräckligt bra för att kunna göra utvärderingar med en HMD-enhet i en XR-miljö. I samband med det använder

Designvisualisering också ett HMD-system med färre funktioner jämfört med Human Centric Lab och Ergonomiavdelningen, Valve Index.

Designvisualisering använder en VR-buck som de tagit fram tillsammans med Concept Center för att visualisera skisser i olika stadier i designprocessen. 3D-modeller läggs in i VRED där de förbereds och sedan visas för olika involverade i designprocessen för att utvärdera specifika egenskaper. Tekniken som används för VR-användning, som HMD-enhet, dator, spårningsbasstationer, och tillhörande mjukvara, har de installerat själva i bucken.

Designvisualisering använder sig av Valve Index för utvärdering av deras visualiseringar, främst för att de hade svårigheter att få till kalibreringen med Varjo XR-1 som de hade tidigare.

När VR-bucken som Designvisualisering använder för sina utvärderingar testades framgick det att den inte var optimerad för det den skulle användas till. Det fanns många funktioner som inte användes, exempelvis två säten, men bara ett av sätena användes, och det saknades stöd för funktioner som hade varit användbara, t.ex. justering av fysiska komponenters position. Under testet upptäcktes också att kalibreringen av den digitala miljön i förhållande till verkligheten var felaktig, framförallt i lutning, tillräckligt mycket för att man skulle luta sig själv för att kompensera. VRED användes för att visualisera miljön med Valve Index som HMD-enhet. Under simuleringen kunde man förflyttas i den digitala miljön antingen genom att flytta sig själv, eller genom att flytta positionen för HMD i VRED. När simuleringen startades befann man sig inte på rätt plats från början i förhållande till verkligheten. Användaren behövde positioneras manuellt i den digitala miljön för att den skulle hamna på någorlunda rätt plats i förhållande till verklighetens element som säte och ratt i bucken. HMD-enheten som användes hade också en pixelerad upplösning i jämförelse med datorskärmen som visade vad HMD-användaren såg.

På Ergonomiavdelningen används en i grunden likadan VR-buck som Designvisualisering har, men som har modifierats och ytterligare funktioner har installerats. Bland annat har motorer installerats som kan ändra positionen av sätet och ratten vilket tillåter bucken att efterlikna olika bilmodeller med de förhållandena. Även höjden kan ändras, vilket gör att golvet i bucken motsvarar rätt sitthöjd i en riktig bil, det vill säga förhållandet till stolen från golvet, och även golvet förhållande till marken. Tekniken som används har de själva installerat efter deras uppfattade behov.

Enligt Ergonomiavdelningen är det viktigt att HMD-enheten de använder har hög upplösning för att de ska kunna göra sina tester och utvärderingar i XR-miljö korrekt. Av de arbetsuppgifter som de har använder de en XR-buck med ett Varjo XR-1 HMD för att utvärdera framför allt sikt i en XR-miljö. För deras övriga uppgifter använder de modeller samt information från designsläpp

och använder fysiska prototyper vid behov. HMD-enheten i sig är dock otymplig då den väger mycket, och har sladdar som kommer i vägen när den används. Tidigare användes HTC Vive som HMD-enhet, där upplösningen inte var tillräckligt bra för att kunna arbeta med utvärdering av sikt i en virtuell miljö. Idag används Varjo XR-1 i VR-bucken som har bättre upplösning och tillåter funktioner med Mixed Reality.

## Fysisk återkoppling i XR-miljö

I XR-miljöer renderas digitala element man interagerar med, men det finns också metoder för att simulera fysiska objekt i en digital miljö. I dagsläget simulerar Human Centric Lab haptisk återkoppling med hjälp av en Teslasuit, en helkroppsdräkt som kan ge haptisk återkoppling över hela kroppen. Dräkten är klädd med elektroder som för en ström genom kroppen och spänner muskler vilket gör att man kan styra eller begränsa rörligheten hos en användare i dräkten. Med dräkten kan de simulera kroppskontakt med fysiska föremål enbart med digitala metoder genom att styra muskler att spjärna emot. Dräkten möjliggör att XR-användare inte behöver fysiska föremål i den verkliga miljön för att uppleva hur det känns att gå emot digitala element i XR-miljön. Däremot kan uppfattningen bli påverkad av dräkten i sig, då det är kroppen som spjärnar emot med egna muskler. På så sätt kan man inte få en riktig känsla av hur det känns att slappna av mot ett objekt med Teslasuit. Tidigare användes handkontroller för att få haptisk återkoppling när en användare i XR-miljö interagerar med digitala föremål i en virtuell miljö. Vid krock med digitala föremål roterar motorer i handkontrollerna så att en användare får haptisk återkoppling när den går emot ett objekt.

Under besöket till Mixed Reality Lab användes ett annat system för fysisk återkoppling. Mixed Reality Lab arbetar med Virtual Engineering i AR-miljö med hjälp av Microsoft HoloLens. Den XR-miljö som vi fick testa under vårt besök var en scen tänkt för att undervisa montering för fabriken. Därutöver användes en fysisk attrapp för att ge användare en direkt uppfattning om hur de skulle vara tillåtna att röra sig i en verklig miljö. Den virtuella och fysiska miljön lade sig dock fel i förhållande till varandra vilket gjorde att den virtuella miljön inte lade sig exakt på attrappen som det var tänkt. Däremot gav det en förståelse för hur det var tänkt att använda AR tillsammans med fysiska attrapper för fysisk återkoppling, och poängterade vikten av kalibrering mellan HMD, verklig, och digital miljö. De digitala modellerna i miljön var inte bearbetade för att representeras visuellt realistiskt, varje digital komponent hade en färg helt genomgående, inte material som skulle efterlikna en verklig komponent. Det blev förklarat för oss att syftet med den digitala miljön var korrekt färgåtergivning inte relevant då det viktiga att förstå och förhålla sig till deras position. Den HMD-enhet som användes, Microsoft HoloLens, användes av tre personer

samtidigt och vi kunde interagera med de digitala komponenterna samtidigt. Utefter vår uppfattning hade den digitala miljön inte samma placering i förhållande till våra HMD-enheters visning, något som kunde bero på dålig kalibrering eller att systemet inte behöll kalibreringen. Det påverkade dock inte interaktionen alltför mycket då vi bland annat kunde markera komponenter och belysa dem för varandra.

På Ergonomiavdelningen är haptisk återkoppling väldigt viktigt för att utvärdera ergonomiska egenskaper och man använder fysiska prototyper och gör fysiska tester för det idag. De fysiska testerna görs primärt för att få en bättre ergonomisk helhetsupplevelse än vad som kan uppnås med exempelvis enbart digitala tester, och det är främst fysiska rörelser man är intresserad av. Man kan använda digitala manikiner för att utvärdera belastningar i en digital miljö, men fysiska prototyper behövs för att på ett bra sätt förmedla en upplevelse till involverade parter utanför Ergonomiavdelningen. Det är höga krav på precision på fysiska prototyper som används för testerna. Dessa krav gör att tillverkningen av fysiska prototyper tar väldigt lång tid, vilket gör tiden det tar att testa och utvärdera ergonomi blir väldigt lång. Man vill minska tiden som fysiska ergonomitester tar.

För att få en uppfattning om hur ergonomi i bilen kommer att vara utgår man från de mått och relationer som komponenterna i en modell har. Det är en väldigt komplex uppgift då alla delar och deras position och utformning har väldigt stor påverkan på ergonomiska egenskaper. På grund av det blir ytorna på fysiska prototyper väldigt realistiska i sin utformning i förhållande till hur en slutprodukt ser ut. Prototyperna behöver dock inte ha den realistiska formen på alla komponenter, simplare modeller som har samma krav på geometrier för ytor som ska utvärderas skulle kunna fungera lika bra. Bilens utformning har en stor påverkan på hur mycket rymd som finns tillgänglig för en interiör, och det begränsas ytterligare av alla delar som tillhör en bil, kablage, drivlina, batterier etc. På senare tid har också elbilars utformning påverkat utformningen interiört i bilarna genom att placera batterier undertill på bilar. Interiören blir på så sätt positionerad högre upp vilket påverkar bland annat insteg i bilen, samt att det blir lägre utrymme i kupén om inte taket höjs. Nya förändringar och utseenden på bilmodeller driver också förändring för ergonomiska egenskaper, vilket man på Ergonomiavdelningen utforskar. På vissa designförslag kan det vara av ergonomiska skäl som ändringar bör göras då viktiga funktioner eller rörelser kan vara hindrade av utformningen på bilen eller dess komponenter.

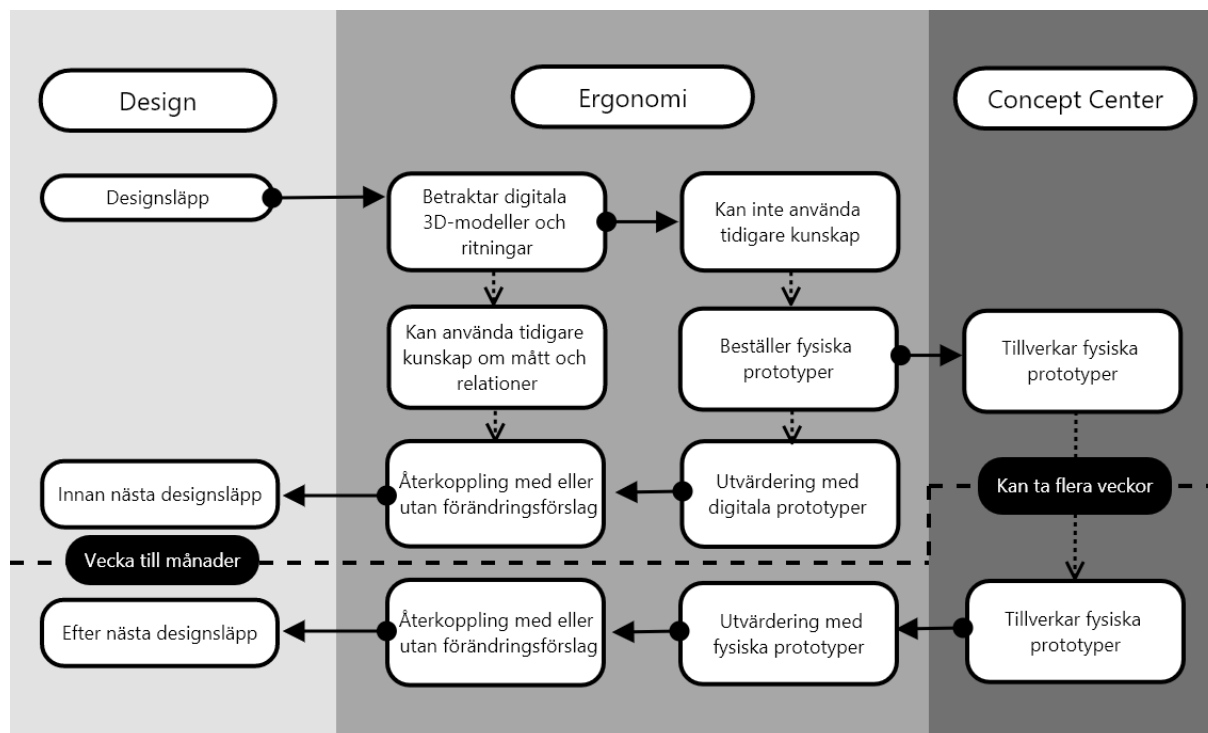
När Ergonomiavdelningen besöktes för tester blev det uppenbart att den VR-buck som de använder för utvärdering i XR-miljö inte kunde använda delar av de inbyggda funktionerna på det sätt som det var tänkt. Den justerbara höjden i bucken var tänkt att låta en användare uppleva den korrekta höjden från marken som motsvaras av bilmodellen den ställs in efter.

Problemet är att i det här systemet befinner sig användaren i en VR-miljö som inte påverkas av detta. För att kunna dra nytta av den funktionen behöver man göra ett test som inkluderar fysisk rörelse, exempelvis för att testa insteg, men de testerna har ytterligare krav för att genomföras korrekt, bland annat att övriga hinder eller objekt också är på rätt plats. VR-bucken saknar möjligheten att fästa sådana objekt.

När vi testade VR-bucken på Ergonomiavdelningen var spårning-basstationerna placerade mitt emot framsätet. Detta gjorde att man endast kunde titta framåt, vilket begränsade hur mycket man kunde se i XR-miljön; när man vände sig från sensorerna tappades spårningen och bilden i HMD-enheten frös. Då upplevdes åksjuka som kvarstod när bildkopplingen till HMD-enheten kom tillbaka. Även kablarna till HMD-enheten var påtagliga när man använde HMD-enheten, och att röra sig fysiskt i bucken kändes onaturligt med HMD-enheten på huvudet. När man försökte att röra digitala element som inte fanns i verkligheten blev man också förvirrad då vissa fysiska element faktiskt fanns, bland annat ratten.

Positioneringen på ratten var också bra i den digitala miljön med hänsyn till var man hade föreställt sig att den skulle finnas då man kände på den fysiskt. Vi fick även testa en form av MR i VR-bucken; kamerorna på HMD-enheten aktiverades för att spela in den verkliga fysiska miljön som objekt i den digitala miljön sedan övertäckte. Med den funktionen aktiverad kunde man se vad som fanns runtomkring den digitala modellen i scenen, och med en experimentell metod kunde man se sina egna armar och händer. Den metoden var dock väldigt begränsad, armarna och händerna flimrade mycket och blandade sig med den digitala miljön.

## Arbetsprocess med prototyper - Ergonomiavdelningen



Figur 5: Arbetsprocess med prototyper för Ergonomiavdelningen

För de flesta avdelningar så är tiden en avgörande faktor för hur mycket arbete de kan få gjort, speciellt när den är begränsad av deadlines utanför deras kontroll. På Ergonomiavdelningen följer arbetsprocessen normalt efter ett designsläpp som innehåller all information om en framtida tänkt bilmodell som de olika avdelningarna på Volvo Cars kan ta del av, se figur 5 för en visuell representation av arbetsförloppet. Man undersöker designsläppet och gör bedömningar om de ergonomiska egenskaperna är tillräckligt bra och ger återkoppling om detta till designavdelningen. Då det är en digital modell man kollar på via en datorskärm kan man endast läsa av måtten, men på Ergonomiavdelningen har man tillräckligt med samlad erfarenhet och kunskap för att kunna avgöra om vissa mått och specifika relationer mellan komponenter kommer att tillåta en acceptabel ergonomi. Då kan de direkt ge återkoppling på vad som behöver åtgärdas.

I de fall som de är osäkra på om måtten kommer ge en bra ergonomi behöver de utvärdera med hjälp av fysiska prototyper. En så kallad "ergobuck" beställs, en buck utrustad med fysiska prototyper av en bil, och när den är beredd att användas gör man de tester som behövs för att undersöka ergonomiska egenskaper. Ergobucken används även som kommunikationsverktyg mot andra avdelningar genom att låta de själva uppleva de ergonomiska egenskaperna som prototypen har. Ibland har ett nytt designsläpp redan skett vid det här läget, så den ergobuck

som användes för testerna kan då ha blivit föråldrad då det kan vara nya mått och relationer mellan komponenterna i det nya designsläppet. Då kan nya prototyper behöva tillverkas och det tar ytterligare tid innan man kan ge fullständig återkoppling på ergonomiska aspekter för modellen som utvecklas.

Ergonomiavdelningen jobbar väldigt mycket på detaljnivå, där millimeterskillnader på och mellan komponenter spelar väldigt stor roll. Med enbart visuell utvärdering är det svårt att avgöra om vissa utformningar är tillräckligt bra, ofta behövs haptisk återkoppling för att få en tillräckligt bra uppfattning, vilket är svårt att återskapa i digital miljö. Detta är grunden till beroendet av fysiska prototyper för ergonomiutvärdering.

### Arbetsprocess för digitala prototyper - Ergonomiavdelningen

För Concept Center är det av intresse att veta hur digitala prototyper tillverkas, och efter att ha följt upp hos XR-ansvarig på Ergonomiavdelningen om hur de arbetar idag med XR har en process sammanställts för hur ett projekt med digitala prototyper i XR-miljö ser ut hos dem:

1. Samla ihop alla ytor och modeller, t.ex. från ett designsläpp, som ska användas i den digitala prototypen.
2. Förbered filerna i ett visualiseringsprogram, DELTAGEN, då ingår bl.a. att:
  - förbereda ytorna på modeller genom att städa undan och reducera polygoner som filerna är uppbyggda av för att göra modellerna "simplare" och lättare att hantera i realtid.
  - säkerställa att alla ytor är orienterade åt rätt håll
  - Lägga till ytorna till en bilstruktur så att funktioner kan programmeras i UNITY och användas på ytorna
  - Spara modellerna i ett 3D format (.FBX) för enkel import till Unity.
3. Lägga in relevanta punkter, exempelvis referenspunkter, med koordinater i en Excel-fil som Unity kan läsa av och placera dem rätt i miljön. Detta görs så att man inte manuellt måste placera alla komponenter rätt i Unity.
4. Ladda in 3D-filen i Unity, FBX filen laddas in i Unity. Rätt material läggs på som sedan appliceras på den befintliga bilstrukturen. Appliceringen sker via datapunkterna från Excel-filen. Sedan placeras bilen på rätt plats i scenariot med hänsyn till koordinater och den riktning som modellen ska ha.
5. Utvärdering i Unity genomförs.

Denna process involverar främst visualisering av den digitala prototypen, om ytterligare funktioner ska finnas i den digitala prototypen måste de läggas till i utvärderingsmiljön, i det här

fallet Unity. Ergonomiavdelningen följer denna process för att förbereda digitala prototyper till bland annat siktutvärdering, men processen ser i princip likadan ut oavsett vad man ska använda digitala prototyper till. Visuellt måste modellerna förberedas till en nivå som passar för arbetet. Väldigt komplexa och exakta modeller kräver mer renderingskraft när de ska visualiseras och man försöker ofta att reducera komplexiteten, göra de "simplare" för att få högre prestanda. För att visualisera modellerna behövs också ett material i den digitala miljön, och beroende på vad de ska användas till kan materialval också vara avgörande. Behövs väldigt realistisk visuell återgivning måste rätt material väljas, eller skapas, och läggas på rätt komponent, vilket kan vara tidskrävande om det är många olika komponenter med olika material. För att dra full nytta av det måste också den digitala miljön som prototypen sen ska befinna sig i ha rätt ljussättning.

## 4.1 Process för utveckling av XR-system & digitala prototyper

Att arbeta med XR-system är mångfasetterat varför resultatet som presenteras nedan, en process och krav samt aspekter att inkludera vid arbetet med XR-system, är generellt och inkluderar de huvudsakliga stegen som behövs för att leverera digitala prototyper till interna kunder för Concept Center.

Processen som utarbetats består av åtta steg över tre faser; Datainsamling om tilltänkt kund, utvärdering av XR-system, och slutligen sammansättning och leverans av XR-system.

Processen förklarar vilka aspekter som är viktiga i utvecklingen och leverans av ett XR-system, exempelvis en buck, och ge förståelse för vilka begränsningar som är lätta att förbise men som har stor betydelse för en slutanvändare av systemet.

### Fas 1: Förståelse om verksamhet

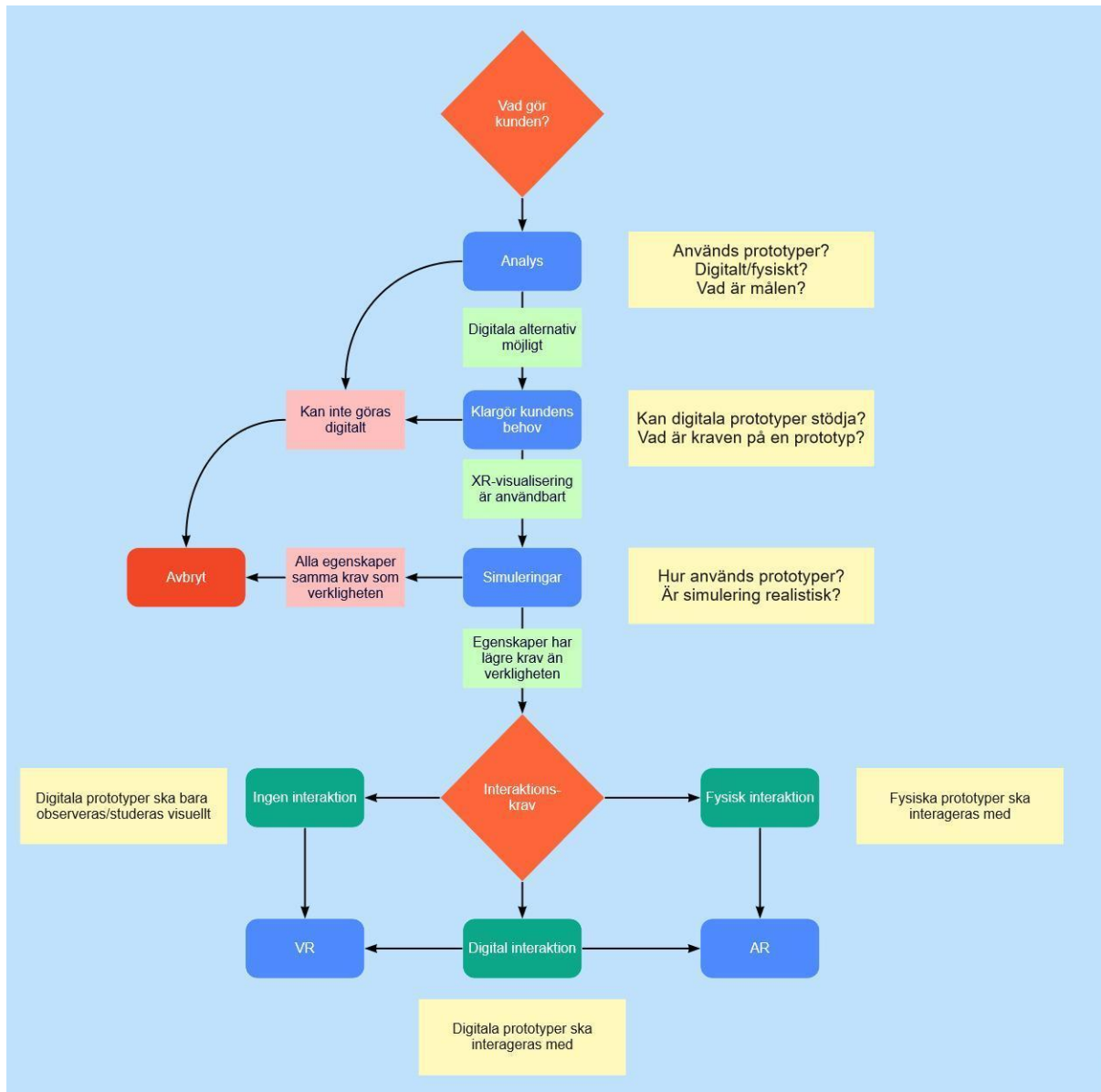
I den här fasen är målet att ta reda på om en digital leverans med XR-system är rimligt för en kund. Även om det kan verka motiverat att använda XR i deras verksamhet behöver man först förstå vad de gör d.v.s. vad deras uppgifter och mål är, undersöka om XR kan bidra till arbetet, vilka deras behov är, och på vilket sätt en digital prototyp skulle användas.

### Steg 1: Uppgifter & mål

Det första som man måste förstå är vad den tilltänkta kunden gör och om XR kan göra något för att bidra till verksamheten, det innebär att ta reda på vad arbetsuppgifterna och målen för kunden är. Det räcker inte med att veta hur deras nuvarande process ser ut, och det är inte heller alltid relevant då det kan låsa tankegångarna för hur en XR-lösning skulle kunna bidra till att nå verksamhetens mål. Man börjar med att kontrollera om fysiska prototyper används, undersöka varför de används, och därefter ifrågasätta om man måste använda fysiska prototyper eller om digitala prototyper kan användas istället, eventuellt i samspel med fysiska prototyper.

Ofta finns flera sätt att nå målen på, och genom att försöka ersätta eller direkt översätta en process som hanterar fysiska prototyper för tester och utvärderingar med digitala prototyper kan det snabbt bli fel om man inte har full förståelse varför processen ser ut som den gör. Därför bör man också leta efter nya metoder att nå målet som skulle kunna göras digitalt. För visuella tester, exempelvis passning, kan man enkelt använda digitala metoder, men för att komma till själva testet av passningen kanske en montering krävs. Kan monteringen som den sker i verkligheten göras med ett digitalt gränssnitt som tar hänsyn till kraven som finns i verkligheten kan man använda ett digitaliserat test. På samma sätt gäller detta alla moment som kunden har

i uppgift, men de moment som inte är en del av uppgiften kan istället tas bort eller reduceras med digitala prototyper. En grundläggande analys för vad som är viktigt för att uppnå målen hjälper till att reducera den nuvarande arbetsprocessen till de moment som är avgörande för att nå målen.



Figur 6: Visuell beskrivning av fas 1. Kundens verksamhet måste analyseras, och möjligheten att använda digitala prototyper inte alltid garanterad.

## Steg 2: Behov och krav

I de fall som fysiska prototyper krävs för att nå målen med arbetet kan det upplevas rimligt att avbryta ett försök att digitalisera det med hjälp av XR då det inte går att uppnå, t.ex. hållfasthetstest av material eller ljud som uppstår vid interaktion mellan komponenter. Däremot kan det finnas anledning att använda digitala prototyper som kan stödja huvuduppgiften genom

att bidra med funktioner eller möjligheter som fysiska prototyper saknar, skulle ta för lång tid, eller vara för dyra att tillverka. En stor fördel med digitala modeller är att de går att göra väldigt snabbt, och att det går fort att göra ändringar som man kan verifiera visuellt direkt. Eftersom digitala modeller kan bytas ut i en XR-miljö väldigt enkelt kan det också motivera användning av digitala prototyper om det finns ett behov av att testa eller utvärdera många olika varianter av komponenter visuellt.

Utöver detta behöver man också fastställa vilka krav som ställs på en prototyp, och överväga om de är möjliga att översätta till en digital prototyp. De fysiska egenskaperna på en prototyp kanske man tar för givet, så som vikt, tyngdpunkter, och haptisk återkoppling. I en digital prototyp måste alla egenskaper som behövs för att arbeta med den läggas till eller simuleras. Man måste ta hänsyn till de inherent egenskaperna på fysiska prototyper när man formulerar behoven på digitala prototyper, då de egenskaperna kan vara avgörande för arbetet med de prototyperna. Det kan innebära att man måste inkludera fysiska prototyper i en leverans för digitala prototyper för att man inte kan digitalisera moment som kräver fysiska prototyper. Även hur många som ska arbeta med en prototyp samtidigt och hur väl kommunikationen mellan dem måste vara kan vara begränsande då det kan ha väldigt stort inflytande på utformning av systemet som ska användas till de digitala prototyperna, samt hur fysiska prototyper som ska användas tillsammans med digitala prototyper ska integreras. Eftersom VR-system inte har input från fysisk miljö kan man krocka med fysiska komponenter, eller med andra användare.

### Steg 3: Digitalisering & simulering

För att motivera användning av XR och digitala prototyper behöver man också utvärdera hur omfattande en digital prototyp måste vara för att den ska kunna användas i en kunds verksamhet. Om en digital modell och testmiljö behöver innehålla mycket information som ska vara så realistisk som möjligt kan det vara ett argument mot utveckling av det. Eftersom modellen ska simuleras i en digital miljö måste alla önskade egenskaper och interaktioner med modellen också simuleras. I detta ingår bland annat form, färg, ljus, tyngdpunkt, gravitation, position, förflyttning, mekanik, och haptisk återkoppling, och andra fysiska egenskaper som alltid ingår med en fysisk prototyp.

Ju fler egenskaper som måste stämma överens med verkligheten, desto mer arbete kommer att krävas för att en digital modell och miljö ska klara av att simulera de egenskaperna. Det här är också anledningen varför man måste etablera vilka krav som är viktiga på en prototyp i föregående steg; för att underlätta beslutet om att göra en miljö som klarar av att simulera alla egenskaper som behövs. I samband med det kan man också förenkla vissa egenskaper om det

tillåts vilket kan göra det mer fördelaktigt att göra digitala prototyper istället för fysiska. Det kan vara exempelvis egenskaper som vikt och hållfasthet. Det finns också egenskaper som kan vara helt avgörande till att simulering inte är realistiskt, som exempelvis realistiskt ljud vid interaktion mellan objekt.

#### Steg 4: Interaktionskrav

När man fastställt alla krav som finns från kundens sida på själva prototypen blir nästa steg att översätta dessa till interaktionskrav i ett XR-system. Både i VR- och AR-miljö kan man interagera med digitala element som användare, men det finns några begränsningar för interaktion i fysisk miljö. För visuell observation eller interaktion med digitala prototyper är VR ett bra alternativ då det inte tar hänsyn till den fysiska miljön överhuvudtaget för visualisering i den digitala miljön. En användare kan då till stor del själv styra hur den interagerar med miljön, och observera den digitala modellen samt interagera med dess funktioner. För interaktion med verkliga objekt i samband med den digitala miljön kan VR också fungera, men då uppstår ett strängt krav på kalibrering mellan den digitala och den fysiska miljön. Objekten i den verkliga miljön behöver då också simuleras i den digitala miljön för att behålla immersion för användaren, och för att den inte ska skada sig själv eller omgivningen genom att gå emot objekt den inte kan se.

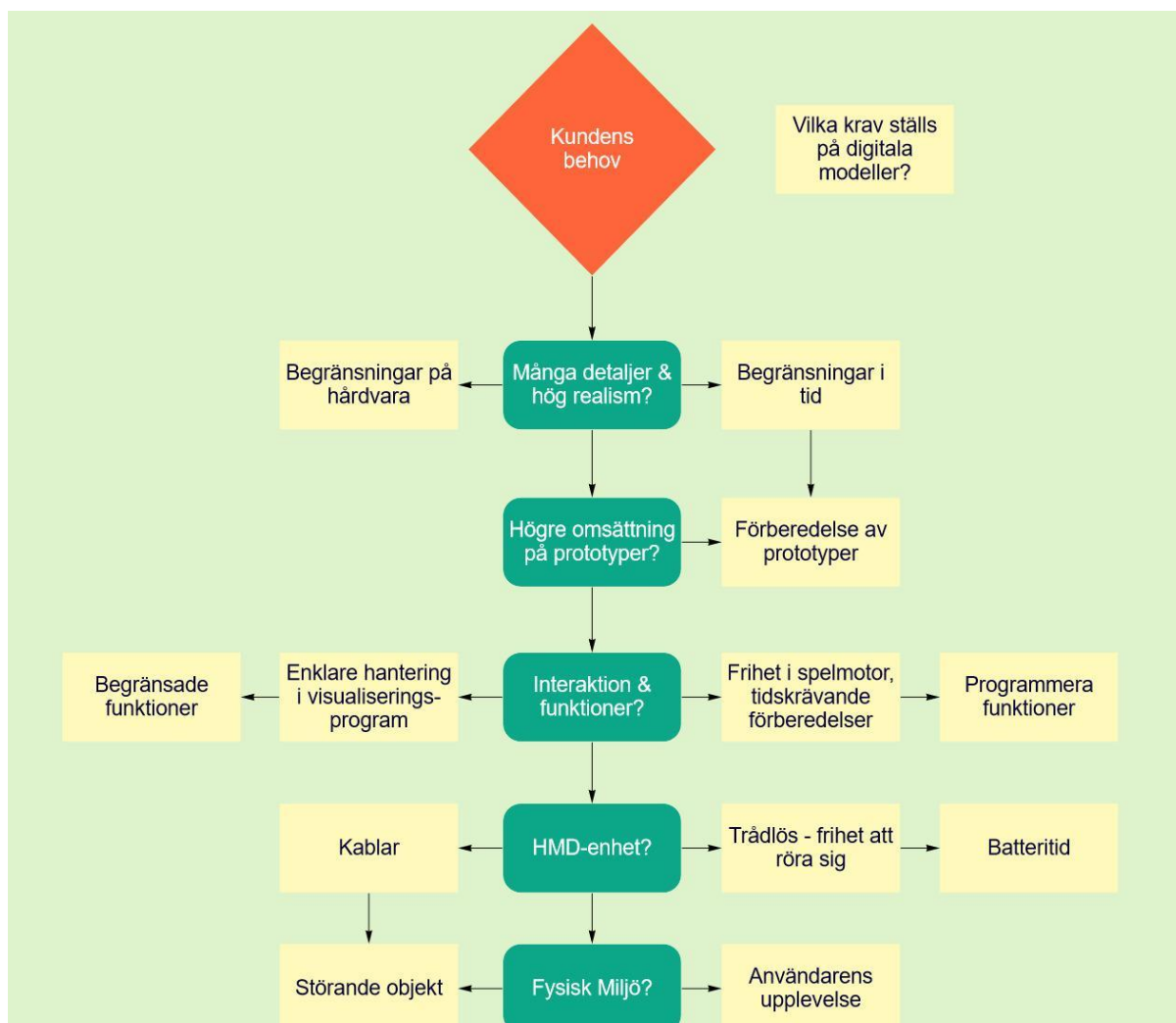
AR är då ett bättre alternativ då det tillåter en användare att se både den fysiska miljön, och den digitala miljön ovanpå. AR tillåter också att man inte behöver simulera en lika komplett miljö som för VR då de fysiska objekten är synliga för användaren ändå. En annan fördel med AR är att man kan påverka den fysiska miljön utan att behöva uppdatera den digitala miljön med förändringarna, förutsatt att de är oberoende av varandra för visualisering. Ska flera användare arbeta samtidigt måste man också ta hänsyn till det, bland annat om de ska kunna interagera i digital och fysisk miljö samtidigt.

## Fas 2: Val av XR-system

När man samlat in den kunskap man behöver från kunden går man till nästa fas som går ut på att undersöka vilket XR-system som passar för kunden. Det kan bero mycket på de ställda kraven från kunden, men framför allt på det som identifieras genom analys av kundens arbetsprocess för att nå målen för deras verksamhet.

Eftersom det finns många olika XR-system gäller det att hitta ett som har tillräcklig prestanda för att uppfylla de behov som identifierats. Finns inget system vars prestanda uppfyller behoven är en kompromiss värd att överväga, men försvinner för många funktioner, eller om prestandan sjunker för mycket i samband med kompromisser, kan en möjlighet vara att inkludera flera system som kompletterar varandra för olika uppgifter. Alternativt är det en anledning att inte använda digitala prototyper hos kunden.

### Steg 1: Kvalitet & prestanda



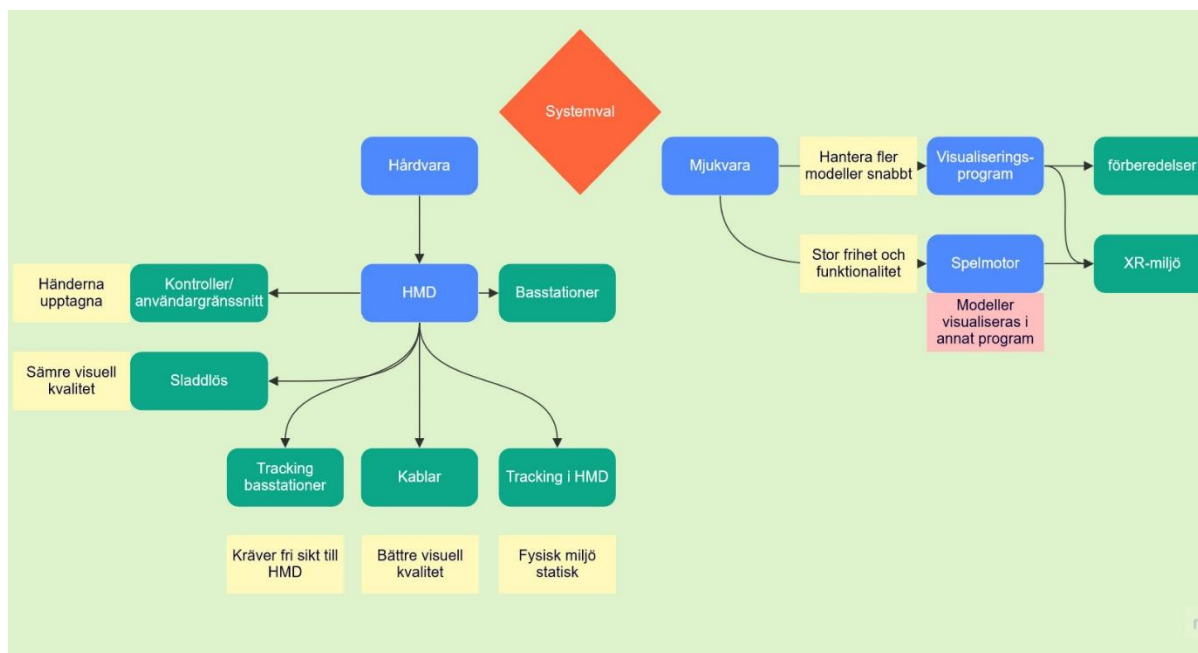
Figur 7: Kundens behov har stor påverkan på vilket system som passar för dem för arbete med digitala prototyper.

För att ta steget vidare behöver man nu överväga vad som är viktigast för kunden gällande digitala prototyper; hög visuell realism eller hög omsättning av prototyper. Det räcker inte med att dra en direkt jämförelse med hur deras arbete med fysiska prototyper ser ut just nu, då det kan vara så att digitala prototyper i XR-miljö inte ersätter utan blir ett komplement till de fysiska prototyperna som används. Det måste utredas om det finns ett behov av att ha hög detaljrikedom på de digitala modellerna, och om den också måste återspeglas vid användning av ett XR-system. Även om prototypen behöver vara extremt realistisk avseende geometri, betyder inte det nödvändigtvis att den måste ha alla detaljer visuellt för en användare som arbetar med modellen. På samma sätt kan det också vara tvärtom, att en digital modell medför möjligheten att titta på en detaljrikedom som inte hade varit möjlig i fysiska prototyper på grund av begränsningar i tid och kostnad för tillverkning av dem.

Det kan vara attraktivt att göra prototyper i höga upplösningar och med stor detaljrikedom, men man måste ifrågasätta om det är viktigt för att uppnå målet för verksamheten. Finns det ett behov av att visuellt se exakt geometri med detaljer så måste prototypen ha hög detaljnivå på ytor, och då behövs också ett XR-system som kan rendera och visualisera ytorna på den detaljnivån. Utöver det måste också de digitala prototyperna förberedas för visualisering i XR-miljö, bland annat ytfinhet och material, då är också tiden en begränsande faktor. Är kraven lägre ställda avseende geometrier, ytfinhet, material, och visuell kvalitet kan man välja att använda ett XR-system med önskvärda funktioner på bekostnad av prestanda, men framför allt kan man spara tid vid tillverkning och förberedelse av digitala prototyper.

Ett XR-system som använder digitala prototyper kan tillåta användare att ha en högre omsättning på prototyper som testas i digital miljö. Det kan vara fördelaktigt för utveckling av olika koncept och produkter där geometriska egenskaper spelar en större roll än visuella. Däremot kan prototyper med hög detaljrikedom och hög bildkvalitet i HMD ge en bättre helhetsuppfattning om upplevelsen då det uppfattas mer verkligt.

## Steg 2: Systemval



Figur 8: Vilket system som passar är inte självklart, systemen som har passande prestanda kanske har andra begränsningar som påverkar användningen av systemet.

Baserat på vilken prestanda, kvalitet, och funktioner prototyperna ska ha så finns det olika lösningar som kan fungera gällande hård- och mjukvara. Det som kan vara mest begränsande är funktioner, speciellt avancerade simuleringar som t.ex. gravitation. För att simulera sådana funktioner är en spelmotor som har XR-kompatibilitet ett bra alternativ. I en spelmotor måste scenen byggas upp med prototypen innan den praktiskt kan användas. Beroende på hur avancerat man vill kunna interagera med prototypen tar det också längre tid att förbereda den digitala prototypen och miljön som simuleringen sker i. Om det är många digitala modeller kommer mycket tid att gå åt för att förbereda dem för XR-miljön.

Behöver man inte så många eller avancerade funktioner hos prototyperna direkt i XR-miljön kan man välja att använda visualiseringsprogram istället för spelmotorer. Då kan vissa funktioner kontrolleras med gränssnittet av programmet när man tittar på modellen med ett HMD, istället för i en aktiv simulering som spelmotorn gör. Fördelen med detta är att man inte behöver göra script som ska köras, man använder istället inbyggda funktioner i programmet. Beroende på hur hög integrering och vilka funktioner man behöver får man göra en avvägning mellan visualiseringsprogram och spelmotor.

Man kan också utnyttja input från eventuella handkontroller som ingår med vissa HMD-system för att t.ex. aktivera funktioner och interagera med den digitala prototypen, eller för att förflytta sig i den digitala miljön. Handkontroller fungerar både i spelmotor och i vissa

visualiseringsprogram och är värt att överväga om en användare behöver interagera mycket med en digital prototyp direkt i XR-miljö.

Man kan få en hög detaljrikedom med båda sätten, där är istället HMD-enheten och datorkraften begränsande. För en spelmotor behöver modellerna dock förberedas visuellt innan de läggs in i motorn. Det betyder bland annat att ge modeller rätt material, anpassa polygonantal, och exportera filer i ett format som kan hanteras. Behöver man ändra en modell i en spelmotor måste man öppna upp ett annat program, göra ändringar, och sen lägga in modellen på nytt innan ändringarna är applicerade. I ett visualiseringsprogram har man allt på samma ställe, vilket gör att man enkelt kan göra ändringar på modeller som man har i XR-miljön.

För att ta vara på det arbete man lägger ned på visualisering av modeller behöver man också välja ett HMD som klarar av att visa modellerna i tillräckligt hög kvalitet. Därutöver behöver man också se till att det finns tillräckligt processorkraft som klarar av att rendera allting för ett HMD. Detta medför att man måste se till att det finns plats för all hårdvara som krävs, samtidigt som det inte interfererar med en tänkt användare. Sladdlösa HMD medger en användare att röra sig väldigt fritt för att utforska digitala modeller, men har generellt något sämre prestanda då renderade bilder strömmas med viss fördröjning från dator till HMD-enheten. Därutöver blir användningstiden begränsad av batteriet.

HMD-enheter med sladdar har istället problemet att sladdarna måste vara någonstans i den fysiska miljön. Om inga fysiska element behövs, d.v.s. om en XR-prototyp görs enbart för VR-miljö kan man göra enkla lösningar för att hålla sladden ur vägen, exempelvis hänga den från taket. För att tillåta rörelse på en större yta kan man då bli tvungen att använda förlängningssladdar. Angående ytan som används för XR-systemet så finns vissa begränsningar också; vissa HMD använder spårnings-basstationer för att positionera själva HMD-enheten. Tekniken de använder varierar, men praktiskt så fungerar de på liknande sätt: att två eller fler basstationer triangulerar HMD-enhetens position i den fysiska miljön och översätter det till en digital miljö. Vinkeln som täcks av varje basstation samt deras räckvidd varierar, men generellt behövs åtminstone fyra basstationer för att täcka ett område och tillåta användaren att röra sig fritt i 6 frihetsgrader (6 DoF). Det kan också finnas en begränsning i antalet användare som tillåts beroende på vilket system som används.

För en buck som använder fysiska element också kan det innebära problem om fysiska element hamnar mellan HMD-enheten på användaren och spårnings-basstationerna. Blockeras spårnings-enheterna från HMD-enheten kan det resultera i att kalibreringen mellan fysisk och digital miljö blir fel och man blir tvungen att justera om positionen i XR-miljön. Ett annat problem

är åksjukan som användaren kan uppleva när bilden som visas i HMD-enheten inte stämmer överens med rörelser som görs. För HMD som scannar omgivningen och ritar upp en 3D-karta som den orienterar med hjälp av gyroskop eller IMU (Inertial Measurement Unit) är fysiska element inte ett hinder, snarare ett hjälpmedel, men flyttas fysiska element, eller något annat i omgivningen, så kan HMD-enheten tappa positionen. Om en prototyp använder fysiska modeller som byts ut, eller om det är mycket rörelse i omgivningen så kommer sådana HMD-enheter inte att fungera bra då de riskerar att tappa kalibrering. Detsamma gäller även kontroller som är beroende på interaktion med basstationer för att behålla spårning.

Om XR blir en delösning för en fysisk prototyp behöver man se till att XR-systemet inte skapar hinder för användning av den fysiska prototypen, t.ex. att kablar inte kommer i vägen, eller att HMD-enheten har kontroller man måste använda för att arbeta i digital miljö och man inte får händer fria att interagera med den fysiska prototypen. Om flera personer ska använda systemet samtidigt behöver man också hitta en metod som tillåter användarna att se varandra i en helt digital miljö. Det kan behöva diskuteras vad som är mest lämpligt för kunden i fråga, särskilt när det är de system som finns på marknaden som är utbudet. Om det inte går att sammanfoga de behov och krav som kunden har med den XR-hårdvara som finns tillgänglig så kan det vara rimligt att avbryta processen istället för att forcera en kompromiss som inte levererar vad som efterfrågas.

### Fas 3: Sammansättning

Baserat på behoven hos kunden, och vilket XR-system som är lämpligt att använda, ska hela systemet också byggas ihop för att det ska kunna nyttjas för arbete med digitala prototyper. Concept Center har mycket erfarenhet av att konstruera fysiska produkter med hög komplexitet vilket talar för att de skulle kunna konstruera buckar åt respektive kund som vill använda en buck med ett XR-system. Däremot finns inte en stor erfarenhet eller kompetens vad gäller integrering av XR-system i bucken, eller hur digitala prototyper ska göras för användning i ett XR-system. För att göra en komplett leverans av ett XR-system för att arbeta digitala prototyper behöver Concept Center utöka sin kompetens inom XR-system, samt tillverkning av digitala prototyper för användning i XR-miljö. Det gäller kunskap om:

- HMD-system, hur utformning och egenskaper hos systemen påverkar användningen med det i digital & fysisk miljö.
- Digitala miljöer, vilken miljö (AR, VR, MR) som passar för arbete med digitala prototyper.
- Modellerings- & visualiseringsmjukvara, hur digitala prototyper ska tillverkas och förberedas för användning i digital miljö.

För att använda XR-system krävs också hårdvara, d.v.s. en dator, som klarar av att rendera den önskade miljön med alla digitala prototyper. För detta måste man också tänka ut en rimlig placering för dator och skärm, och har man begränsat med plats, eller om systemet ska vara mobilt, så kan en bärbar dator vara fördelaktigt. Generellt gällande XR-system så är datorprestanda väldigt viktigt för att få en hög bilduppdatering i en HMD-enhet, något man gärna vill ha för att undvika åksjuka. Det går också att kompromissa fram bättre prestanda bland annat genom att reducera polygonantalet i digitala modeller på bekostnad av bildkvalitet, eller genom att inte rendera vissa komponenter i en scen överhuvudtaget. En blandning av dessa metoder kan vara väldigt användbart, exempelvis genom att göra en väldigt enkel scen som bara innehåller de delar av den digitala prototypen som man behöver titta på.

### Steg 1: Fysiska delar



Figur 9: Fysiska delar kommer alltid ingå i ett immersivt system, framförallt hårdvaran som krävs för att använda systemet. Utöver det behöver man också ta hänsyn till arbetsområde, och om andra delar behövs, som fysiska komponenter eller attrapper.

Vid leverans av XR-system kan en buck användas för att hålla all hårdvara som används för det systemet. På så sätt kan man lösa problem med fysiska begränsningar som systemet har innan produkten levereras till en kund, exempelvis gömma kablar, konstruera lämpliga platser för basstationer, och upphängningsplatser för handkontroller. Kablar från dator till HMD-enheten eller stativ för basstationer kan vara objekt som stör en användare och bryter immersion, vilket

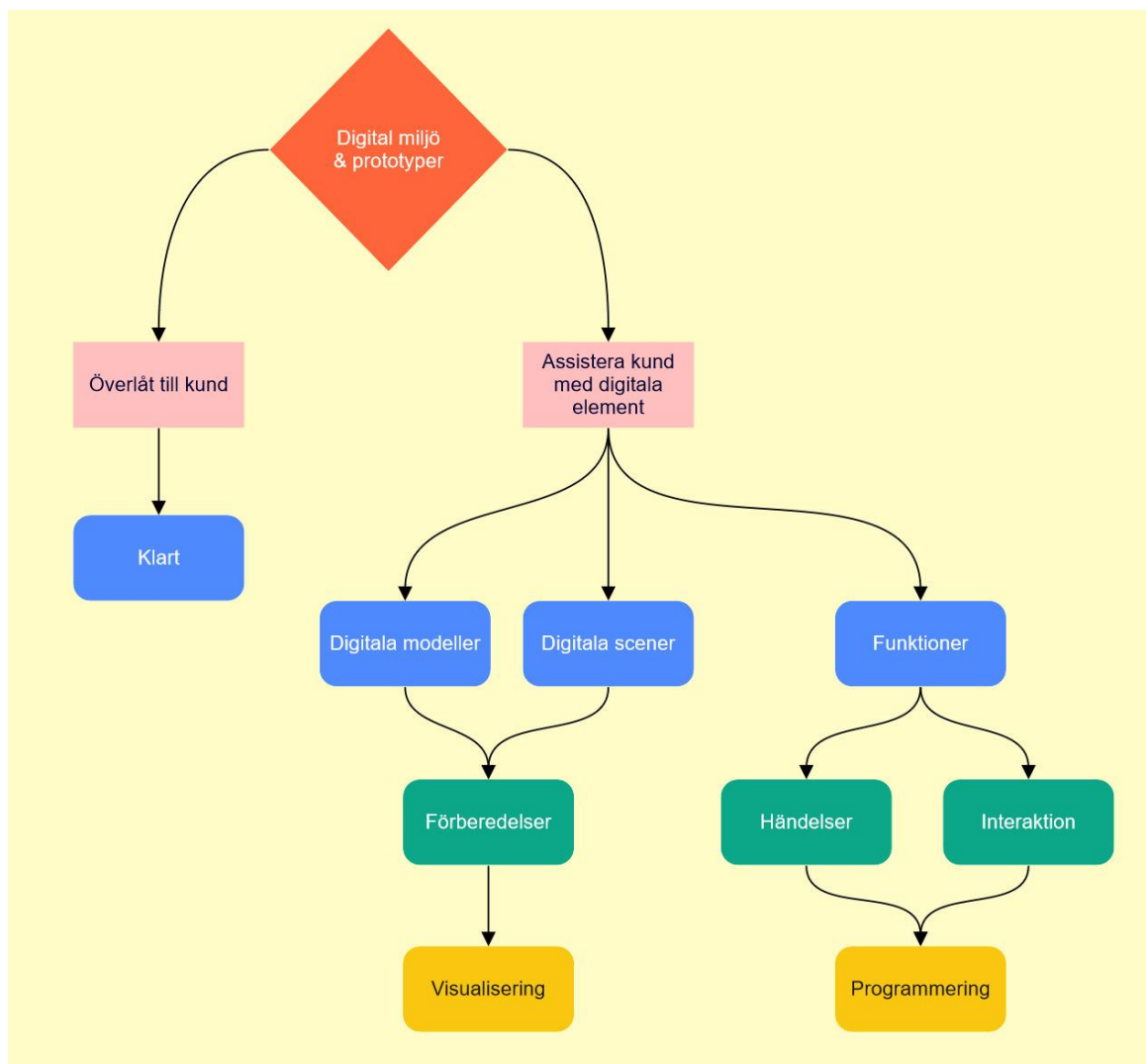
hindrar den från att lösa sina uppgifter ordentligt. En användare i VR-miljö kommer också ha begränsad uppfattning om den verkliga miljön, så det kan vara av nytta att tänka på hur man kan underlätta för en användare att känna sig säker under användning. En matta med varierande underlag som en användare kan känna av om den är på väg utanför arbetsområdet skulle kunna vara hjälpsamt för det. Om flera personer ska använda systemet samtidigt behöver man också se till att utrustningen inte interfererar med andra användare.

Även kalibrering är en viktig aspekt för användning av XR-system. Om en XR-leverans har fysiska komponenter, exempelvis prototyper som ska användas i samband med digital miljö, är det viktigt att möjliggöra en väldigt bra kalibrering mellan de digitala och verkliga objekten för att behålla immersion. Digital och verklig miljö måste också stämma överens för att användaren inte ska få blandade sinnesintryck och på så sätt uppleva åksjuka, exempelvis om golvet lutar i digital miljö, men är plant i verkligheten. Utöver det måste också den enhet som används för att visa den digitala miljön vara rätt kalibrerad efter digital och fysisk miljö, annars uppstår samma problem. Kalibrering måste alltså ske mellan digital och fysisk miljö, samt HMD-enheten som befinner sig i båda miljöerna samtidigt.

I digital miljö kan man flytta runt vad en HMD-enhet ser genom att kontrollera kameran i en digital scen och på så sätt placera HMD-enheten på rätt plats i digital miljö manuellt. Det är dock bättre att skapa en eller flera punkter i verkligheten och den digitala miljön som referens mellan verklig och digital miljö. Det viktiga är då att placera punkterna på rätt plats i respektive miljö i förhållande till varandra. Punkterna kan då agera som utgångspunkter för kalibrering av HMD-enhetens position. När en nollställning av kalibreringen på HMD-enheten sker är det viktigt att HMD-enheten är placerad på samma plats i verkligheten som ska motsvara placeringen för en sådan utgångspunkt i den digitala miljön. Även lutningen på HMD-enheten måste vara likadan som vektorn man kalibrerar efter, annars blir den digitala miljön lutande i HMD-enheten.

För att kunna använda rätt kalibrering måste referenspunkterna samt de objekt som används för att spåra HMD-enheten vara statiska i systemet, alternativt måste man uppdatera referenspunkterna om de flyttas. Då bör man överväga om en buck med fysiska prototyper ska vara byggd på en ställning för att fästa alla objekt som behöver vara statiska, byggas in på specifika platser i ett rum, eller om alla delar ska vara fria att flytta runt. För användningen av ett XR-system spelar det inte så stor roll, men det kan vara lättare att ha statiska delar för att inte behöva mäta upp rätt avstånd mellan alla olika delar varje gång någonting flyttas.

## Steg 2: Digitala delar



Figur 10: Om man överlåter hantering av digitala element, som modeller, scener, och funktioner för den digitala prototypen, till kunden behöver man inte utveckla eller införskaffa kompetens för mjukvaran som kunden vill använda.

För att använda en digital prototyp behöver den finnas i en miljö där den kan testas och utvärderas. Det görs med fördel antingen med hjälp av visualiseringsprogram, eller en spelmotor. Oavsett vad som används till visualisering behöver prototypen sparas i ett filformat som kan hanteras av programmet som används, och behandlas så att den har rätt egenskaper för visualisering. För att utvärdera en prototyp visuellt är det material som behöver läggas på samt att positionera alla ytor rätt i förhållande till varandra. Det görs i ett visualiseringsprogram, exempelvis VRED där man också kan göra en scen och utvärdera prototypen direkt i XR-miljö. Det går också att använda andra visualiseringsprogram för att förbereda den digitala prototypen och sedan lägga över den i ett XR-system.

Scenen som ska användas måste också förberedas, framför allt ljussättningen och bakgrunden. Beroende på vad man ska använda digitala prototyper till varierar också behovet av en välgjord scen. I det enklaste fallet behövs bara ett bakgrundsljus (ambient) som är tillräckligt starkt för att man ska se digitala modeller i scenen. Däremot kan man behöva lägga till bakgrund, golv och andra visuella element att förhålla sig till, då avsaknaden av orientering i en immersiv digital miljö kan orsaka åksjuka. I scenen som den digitala prototypen ska visas i behöver man också se till att alla ytor och delar av prototypen hamnar på rätt plats. Antingen görs det manuellt eller med hjälp av data som har koordinaterna till var i scenen varje modell ska befinna sig.

Ska man interagera med prototypen på något sätt som inte täcks av funktionerna i ett visualiseringsprogram behöver man använda en spelmotor som har stöd för XR. Interaktionerna man vill ha måste man då skapa själva genom att göra script i ett objektorienterat programmeringsspråk som spelmotorn kör. Det omfattar allt från animationer på modeller till fysiksimulering med hänsyn till gravitation och friktion. Unity, som används i stor utsträckning inom Volvo Cars, använder C# för script och ger utrymme för många funktioner. Det ställer också krav på att man har tillräcklig kompetens inom både vald spelmotor och objektorienterad programmering för att kunna implementera alla funktioner som ska ingå i leverans av digital prototyp. Är tanken att flera personer ska använda prototypen samtidigt behöver man också göra en lösning för hur de ska undvika att krocka med varandra i digital miljö.

Man kan också lämna över ansvaret på digitala modeller till kunden i fråga. Det kan vara lämpligt om de har väldigt specifika krav på vilken mjukvara som ska användas som inte täcks av egen kompetens, eller om de har en väldigt sluten arbetsprocess för digitala prototyper som är svår att lämna över till en tredje part.

### Specifika kompetenser:

De generella kompetenserna som behövs för att följa processen är; XR-systemhårdvara, visualisering av 3D-modeller, och objektorienterad programmering. Utöver dessa tillkommer också specifika kompetenser inom respektive område men som varierar beroende på vilken produkt eller metod som används. Om kundernas behov ska tillgodoses kommer det slutligen vara styrande för vilka specifika kompetenser som krävs. Många olika kompetenser behövs för att tillgodose alla behov då olika system passar bra till olika saker. Genom att digitalisera uppgifter, eller utveckla digitala metoder för att nå målen hos interna kunder, hittar man behoven och kan därefter hitta de system och metoder som passar bäst för att tillgodose dem.

## 4.2 Applicering av processen på Ergonomiavdelningen

I det här avsnittet appliceras processen som etablerats för utveckling av ett XR-system till Ergonomiavdelningens arbete.

### Fas 1: Förståelse om verksamhet

#### Steg 1: Uppgifter & mål

Ergonomiavdelningen har som uppgift att utvärdera ergonomiska aspekter på modeller och ge återkoppling på om de är tillräckligt bra, eller om de behöver åtgärdas. De har mycket samlad kunskap om ergonomiska mått och relationer för olika delar, men behöver testa okända mått och relationer, och behöver även förmedla detta på ett sätt som designers kan förstå. Idag används en VR-buck för att utvärdera sikt ut ergonomisk aspekt och som har funktioner för att tillåta fysiska utvärderingar av ergonomi också. Däremot ser vi att det finns möjligheter att digitalisera delar av arbetet de gör med fysiska prototyper också.

#### Steg 2: Behov och krav

För utvärdering av fysisk ergonomi måste fysiska modeller användas i viss utsträckning för att kunna simulera känslan som specifika mått och relationer orsakar när man utsätts för dem. De ytor som en slutanvändare har kontakt med är de ytor som Ergonomiavdelningen utvärderar, så en prototyp behöver vara likadan som ritningen är på dessa ytor. Vissa ytor skulle kunna förenklas om kritiska delar behålls, det vill säga där interaktionen sker. Ytorna måste i övrigt vara korrekta gällande geometri för att kunna utvärderas visuellt för sikt samt för fysisk ergonomi.

För sikt är det viktigt att den relevanta visuella informationen visas, vilket är objekt både på nära och långt avstånd. En prototyp för siktutvärdering behöver alltså tillåta detta, och ska den integreras med fysisk ergonomi läggs även de kraven på detta. För integrering av ett XR-system i deras arbete med fysisk utvärdering av ergonomi får det inte vara störande. Det sätter stora begränsningar på vilka XR-system som kan användas. Det skulle öppna upp för att använda två olika XR-system då behoven ser något olika ut beroende på vilken uppgift som utförs.

Från datainsamling och analys sammanställdes de mest relevanta behoven i en lista. Behoven är inte prioriterade i någon ordning:

- Processen för att utvärdera ergonomi behöver vara genomförd och återkoppling behöver ges innan nästa designsläpp.
- Mått och relationer på geometrier och referenspunkter måste vara exakta för korrekt utvärdering av prototyper.

- Prototypen ska inte störa en användare så att den påverkar ergonomiska aspekter vid utvärdering.
- Fysiska rörelser behövs för att utvärdera rymlighetsuppfattning korrekt.
- Komponenter i en prototyp behöver vara justerbara eller modulära för att kunna göra jämförelser av olika utformning.
- Haptisk återkoppling behövs under utvärderingsprocessen av fysisk ergonomi i prototyper.
- För siktutvärdering behöver ljusförhållanden vara realistiska.
- Visuella element behöver vara synliga vid siktutvärdering.

### Steg 3: Digitalisering & simulering

Känslan av färg och material är inte av betydelse, det är bara de ergonomiska aspekterna som är av intresse. Överlag är positionen och måtten på prototyper väldigt viktig både visuellt och geometriskt. En XR-leverans skulle vara fördelaktig att använda för att utvärdera ergonomi visuellt och immersivt väldigt snabbt efter att ett designsläpp skett. De funktioner som Ergonomiavdelningen behöver för utvärdering av sikt på prototyper är inte så avancerade, men bland annat ljusreflektioner måste vara korrekta. Digitala modeller måste alltså förberedas tillräckligt bra vad gäller material som ska reflektera ljus. De scener som ska användas för utvärdering av dessa prototyper behöver också vara välgjorda med realistiska ljusförhållanden och omgivning som möjliggör korrekt utvärdering av sikt.

För utvärdering av fysisk ergonomi skulle en digital prototyp i XR-miljö kunna användas i ett tidigt skede efter designsläpp för att få en första rymduppfattning rent visuellt. För mer omfattande fysisk utvärdering av ergonomi skulle fysiska prototyper behöva användas då simulering av haptisk återkoppling antagligen är för begränsad för att utvärdera fysisk ergonomi tillräckligt bra.

### Steg 4: Interaktionskrav

För att kunna göra allt arbete som Ergonomiavdelningen har i uppgift måste de ha fysisk interaktion med prototyper för att utvärdera fysiska moment. Genom att integrera fysiska prototyper med virtuella prototyper kan man också få en bättre helhetskänsla jämfört med att bara använda begränsade fysiska prototyper. Arbetet med att ta fram fysiska prototyper kan då också prioriteras efter vad som är viktigast att utvärdera och ge återkoppling på i förhållande till hur lång tid det är kvar till nästa designsläpp. Då en del av deras arbete sker med interaktion mellan ytor och händer kan det också vara av stor fördel att anpassa interaktion med digital miljö utan handkontroller.

## Fas 2: Val av XR-system

Ergonomiavdelningen använder redan ett XR-system, men som inte är optimalt för alla deras uppgifter. Enligt vår uppfattning begränsades vilket system som kunde användas efter upplösning, då det finns krav på hög upplösning i HMD-systemet för att kunna användas till siktutvärdering. Med detta begränsades valet av XR-system till de system som har tillräckligt hög upplösning för att kunna användas till siktutvärdering. Detta blev då en nackdel då HMD-systemet som valdes använder kablar, som kan vara i vägen och påverka utvärdering av fysisk ergonomi. För att inte kompromissa bör man i stället överväga om inte flera system som kompletterar varandras brister ska användas.

### Steg 1: Kvalitet & prestanda

Eftersom geometriska förhållanden och visuell sikt är väldigt viktigt måste ett XR-system ha väldigt bra upplösning på bild. Det ställer också krav på kraftfulla datorer som klarar av att rendera de exakta modellerna i digital miljö. Däremot behöver inte alla visuella element ha extremt fina ytor överallt, bara där utvärderingen sker. Materialen på ytorna behöver inte heller vara extremt realistiska eller tunga att rendera, däremot ska ljusförhållanden vara så realistiska som möjligt för siktutvärdering. Överlag är Ergonomiavdelningens behov av prestanda nischade men höga, både avseende upplösning i HMD-enheter och rendering

### Steg 2: Systemval

För att kunna utvärdera ergonomi så bra som möjligt ska de upplevelsen vara så nära verkligheten som möjligt. Med HMD-system så är detta en begränsning då vid normalt bilkörande så har man inte en HMD-enhet på huvudet när man kör. Att använda ett "CAVE"-system som inte använder en HMD-enhet är dock inte rimligt då interiören på bilen inte kan utvärderas digitalt bra med det. Trots begränsningen bör man välja en HMD-enhet som har tillräckligt bra upplösning bildmässigt men som inte påverkar hur man skulle röra sig normalt i en bil. För att kunna göra fysiska moment i en XR-miljö behöver man också kunna se omgivningen för att kunna få bästa resultat, vilket talar för ett trådlöst AR-HMD. Då får man också möjlighet att kompromissa med vilka delar i prototypen som måste vara fysiska respektive digitala.

Om fysisk utvärdering och utvärdering av sikt inte behöver ske samtidigt så kan man dock med fördel använda två olika XR-system och inte behöva kompromissa för att hitta ett system som fungerar för alla uppgifter och på så sätt riskerar att påverka resultaten från utvärderingar. För utvärdering av fysisk ergonomi skulle då ett trådlöst AR-system vara av störst nytta, och för utvärdering av sikt ett XR-system med bästa möjliga upplösning.

## Fas 3: Sammansättning

För Ergonomiavdelningen är sammansättning av fysiska och digitala element väldigt viktigt för utvärdering av fysisk ergonomi. Alltså behövs extra mycket beaktande till att det finns referenspunkter för alla delar som är rörliga i förhållande till varandra så att de går att kalibrera på ett bra sätt.

### Steg 1: Fysiska delar

För Ergonomiavdelningen blir en fysisk buck i princip oundvikligt då de behöver utvärdera fysiskt ergonomiska moment i arbetet, men den skulle kunna anpassas för att ta del av fördelarna med XR-system för digitala prototyper. Då deras prototyper uppdateras efter behov eller i samband med designsläpp skulle en buck för fysiska prototyper kunna anpassas att vara modulär och justerbar. På så sätt skulle enstaka komponenter bara behöva bytas ut eller flyttas på istället för att behöva låta tillverka en helt ny uppdaterad prototyp. En sådan buck skulle då också från början kunna anpassas för utvärdering med flera XR-system.

### Steg 2: Digital miljö

Idag finns redan en VR-buck som används med tillhörande specifik kompetens som krävs för att använda den, en Varjo XR-1 HMD-enhet som visar en miljö renderad i Unity. Modellerna som används för digitala prototyper är förberedda i DELTAGEN med rätt materialegenskaper och scenen i Unity har också ljussättning. För utvärdering av sikt fungerar den här lösningen, men för utvärdering av fysisk ergonomi är detta inte en optimal lösning. Varjo XR-1 HMD-enheten kan visa den fysiska miljön med hjälp av inbyggda kameror men de digitala objekten läggs på som ett lager utan hänsyn till djup. Oavsett hur nära ett fysiskt objekt är så kommer ett digitalt objekt att läggas ovanpå detta i bilden om det befinner sig i samma riktning sett från HMD-användaren. Det är ett problem som gäller alla HMD-enheter, men för AR-baserade HMD-enheter skulle detta kunna kringgås eftersom det är möjligt att se den fysiska miljön samtidigt som den digitala miljön.

För Ergonomiavdelningen är processen att förbereda digitala prototyper är relativt begränsad då det är färdigkonstruerade modeller som används till prototyper, och miljöerna som de renderas i är redan skapade. På så sätt kan digitala prototyper förberedas och sättas in i en arbetsmiljö väldigt snabbt. Däremot är det motiverat att överlämna det arbetet då det inte specifikt har med Ergonomiavdelningens kärnverksamhet att göra.

## 5 Diskussion

Utveckling på Volvo Cars sker mycket i projektgrupper som är tvärvetenskapliga där involverade är kunniga inom sina respektive områden. Eftersom Concept Center inte jobbat med digitala prototyper och XR-system tidigare, ett teknikområde som är väldigt brett, vore det en fördel för Concept Center att införskaffa en grundläggande XR-kompetens, något som redan finns inom Volvo Cars. Särskilt om XR-system kommer att integreras mer i produktutveckling, visualisering, och utvärdering inom olika avdelningar på Volvo Cars. Arbete med XR-system på Volvo Cars är dock väldigt splittrat och många avdelningar har egna system som de utvecklar själva för deras arbete. Fördelen med detta är att varje avdelning är självständig att bestämma hur de vill utveckla och använda sitt system, men då behöver de också ha all kompetens samlad inom sin verksamhet. Skulle man samarbeta över flera avdelningar med ett likadant XR-system kan man bygga upp en bredare kompetens inom XR generellt med specifik och nischad kompetens på avdelningarna. Däremot finns det kanske inte ett system som passar att använda till alla avdelningar, i det här arbetet har vi hittat argument för motsatsen. Trots detta skulle man kunna ha en samlande enhet när det gäller XR-kompetens och digitala prototyper.

Frågan är dock om Concept Center ska ta den rollen. De redan är involverade med fysiska prototyper och har möjlighet att tillverka fysiska stödkomponenter till XR-system för användning av digitala prototyper, men de saknar kompetens inom XR-området. Andra avdelningar har XR-kompetenser som fyller behoven i deras verksamhet, men som kanske inte är universellt gångbara för att kunna användas i alla andra avdelningar. Med detta i åtanke skulle Concept Center vara en bra utgångspunkt att samla XR-kompetens som kan vara stödjande till alla avdelningar då de kan bygga upp en kompetens från grunden som då också kan integrera aspekten med fysiska prototyper från början. Omfattningen kan bli väldigt stor; det finns många avdelningar som arbetar med olika saker och deras behov är inte likadana. Risker är att många olika system behöver användas för integration av digitala prototyper i alla verksamheter, vilket ställer krav på en stor samlad kompetens. Då kan också frågan om hur organiseringen ska se ut ställas, om allt arbete utgår från Concept Centers samlade XR-kompetens, eller om den ska spridas till varje avdelning som använder, eller vill använda, XR-system i deras verksamhet.

### 5.1 Diskussion av resultat

Utöver införskaffning av kompetens inom både XR-system och visualisering behöver Concept Center också undersöka och förstå behoven hos deras kunder avseende arbete med prototyper. Om ett XR-system som utvecklats till en kund inte täcker eller bidrar till att täcka behoven så finns ingen anledning att använda det. Då Concept Center redan tillverkar fysiska

prototyper kan man motivera att de skulle bli ansvariga för digitala prototyper med tillhörande system, som XR-hårdvara samt buckar där hårdvaran installeras och hålls på plats. Det kräver dock ett tätt samarbete med kunderna för att hitta de mål och begränsningar som finns i verksamheten för att översätta de till digitala metoder, samt att Concept Center införskaffar kompetenser inom XR-system (mjuk- och hårdvara), visualisering (utveckling av digitala prototyper från underlag med tillhörande egenskaper exempelvis material), och objektorienterad programmering (funktioner hos digitala prototyper).

Eftersom varje avdelning har väldigt specifika arbetsuppgifter är det troligt att utformningen på en XR-buck skulle bli annorlunda för varje kund för att uppfylla rätt behov, speciellt eftersom behoven på själva XR-systemet kommer att variera mellan kunder. Att homogenisera utseendet på buckar till olika kunder kan då begränsa funktioner på XR-systemet som integreras i den.

### Integration av fysiska prototyper

Det finns lösningar som simulerar hur digitala objekt kan kännas i verkligheten, Teslasuit är en sådan. Detta hjälpverktyg kan vara användbart i vissa avseende beroende på arbetet, men det är också en begränsad lösning. Tekniken som Teslasuit bygger på innebär att kroppen anstränger muskler för att spjärna emot en rörelse man försöker göra. För utvärdering kan det bli kontraproduktivt, då uppfattningen av hur kroppen påverkas av prototypen kan bli störd av den motståndskraft som dräkten utövar på en användare. För utvärdering av interaktion med prototyper är fysiska prototyper ett bättre val om helhetskänslan är viktig. Digitala prototyper kan då användas i samband med fysiska prototyper för att lägga till visuella element som detaljer och material för att ge en mer immersiv känsla. För Concept Centers arbete idag kan det vara av intresse då fysiska prototyper skulle kunna simplificeras och på så sätt kunna tillverkas snabbare. Spatialuppfattning i XR-miljö är inte påtagligt sämre än i verkligheten, så även om fysiska prototyper inte blir exakt likadana som de digitala prototyperna skulle en användare inte märka det med egna sinnen i en XR-miljö. Verksamheter som är beroende av fysiska prototyper skulle då kunna integrera digitala prototyper i arbetet för utvärdering av egenskaper som form, färg, och ljus.

För att integrera fysiska objekt i XR-miljö kan visualisering av digitala modeller användas för att representera fysiska objekt i den fysiska miljön och låta en användare uppleva hög immersion. (Blomberg, 2017) Det problematiska med detta är att den digitala samt fysiska miljön måste stämma överens väldigt bra, så det är väldigt viktigt att fysiska och digitala objekt befinner sig på den plats där man uppfattar att de ska vara. Om fysiska objekt inte infinner sig i förhållande till var man förväntar sig att de ska vara när man interagerar med en representation av objektet i

XR-miljö skulle det kunna leda till en över- eller underkompensering i fysisk rörelse baserat på en visuell input i digital miljö. Då bryts immersion och det kan också leda till åksjuka om det är en liten men märkbar skillnad mellan objekten. I en AR-miljö där verkligheten också kan ses är detta inte lika påtagligt, men för att kunna arbeta och interagera klokt med digital och fysisk miljö samtidigt måste de stämma överens ändå.

## Användare av systemet

När man arbetar i en digital miljö är det också viktigt att ha en bra uppfattning om den fysiska kringliggande miljön, framför allt om man använder ett VR-system som bara renderar en digital miljö. Det måste finnas element som gör att en användare kan orientera sig för att undvika att användaren skadar sig själv eller systemet. Befinner man sig i en digital miljö kan immersion ske väldigt fort och då tappar man uppfattningen om den fysiska världen omkring. (Slater, 2009) Någoting för att motverka att man går bort för långt från det tänkta arbetsområdet behövs också i ett VR-system. Det skulle kunna vara en visuell begränsning i den renderade scenen, som exempelvis en vägg, eller en ljudlig signal. Det kan också vara fysiska föremål som skapar en barriär men det bryter mot immersion och kan påverka upplevelsen negativt. (Blomberg, 2017) I sådana fall bör de vara visualiserade i den digitala miljön också. Beroende på användarbehov kan man avgränsa arbetsområden så att användare inte går in i varandras område, annars måste fysiska begränsningar, exempelvis kablar till HMD-enheter, vara åtskilda tillräckligt för att inte interferera med andra användare. Det öppnar upp för att använda två olika XR-system då behoven ser något olika ut beroende på vilken uppgift som utförs.

Det är också viktigt att beakta hur och vad en HMD-användare i XR-miljö vill göra. I de system som vi testat på olika avdelningar på Volvo Cars har den mesta kontrollen skett via datorn som renderar den digitala miljön; bland annat ändra mellan olika scener, byta och förflytta objekt i scenen, samt styra över HMD-användarens position och betraktningvinkel i den digitala miljön. Detta kan leda till obehag och åksjuka hos en HMD-användare, exempelvis om den blir förflyttad plötsligt med en hög hastighet i den digitala miljön.

Om HMD-användaren i stället kunde kontrollera den virtuella miljön med ett inbyggt gränssnitt hade det gett användaren mer frihet, och skulle kunna minska upplevd åksjuka. En ytterligare orsak till åksjuka för användaren kan vara när uppdateringsfrekvensen understiger det som anses vara naturligt för ögat (IrisVR, 2021). Detta resulterar i att bilden upplevs som hackig och onaturlig för användaren i den digitala miljön. För att undvika åksjuka från detta behövs en uppdateringsfrekvens som är över 90 Hz, vilket ställer krav på både hårdvara och 3D-modeller. Hårdvaran måste ha tillräcklig prestanda för att kunna rendera en digital miljö med den

bildfrekvensen, och 3D-modellerna i miljön får inte vara mer komplicerade än vad som tillåts för att nå den önskade bildfrekvensen.

## Prestanda

Eftersom objekten i en XR-miljö i första hand behöver agera som verkliga objekt och inte vara perfekta representationer av objekt för att nå immersion kan man utnyttja det för att göra modellerna mindre komplexa. Det tillåter då för ett lägre antal polygoner i 3D-filer, vilket också ökar renderingsprestandan för en digital miljö, vilket i sin tur ökar mängden modeller man kan ha i en digital miljö samtidigt.

Om de ytor som behöver en exakt geometri för ett visst moment i en utvärdering kan ges en högre kvalitet i den digitala modellen, och samtidigt reducerar kvaliteten på de ytor som inte är kritiska för just det momentet så kan man behålla en högre grad av immersion utan bekostnad på renderingsprestanda. Det skulle innebära att alla 3D-modeller som ska ingå i digitala prototyper behöver förberedas i minst två exemplar; en finare modell när den är en del av utvärderingen, och en grövre modell när den är en del av kringliggande objekt i scenen. Man skulle också kunna utesluta vissa modeller på en digital prototyp i en scen om de inte bidrar till någonting för det moment som ska göras, men tar man bort för många objekt finns risken att man förlorar uppfattningen om miljön man befinner sig i.

Även HMD-enheten innebär begränsningar för funktioner och den prestanda som kan uppnås. Bildkvaliteten i HMD-enheten beror delvis på den högsta tillåtna upplösningen och annars på prestanda från renderingskällan, men fysiska begränsningar inherent för HMD-enheten har också påverkan på användningen. Utformningen av HMD-enheten, exempelvis vikt och sladd, påverkar hur man rör sig, och för moment med fysisk rörelse kan det vara extra viktigt att ta hänsyn till. Passformen kan också påverka själva upplevelsen och dra fokus från uppgiften man har i digital miljö om en användare upplever att den sitter löst eller gör ont att ha på sig.

## Applicering av processen till Ergonomiavdelningen

Att förkorta tiden som utvärdering tar är mycket önskvärt för Ergonomiavdelningen då de kan påverka och ge återkoppling i en designprocess snabbare. Då mycket av tiden just nu går åt för att tillverka fysiska prototyper som ska utvärderas är det rimligt att försöka hitta sätt att minska tillverkningstiden, eller bli mindre beroende av fysiska prototyper. Att bli mindre beroende av fysiska prototyper är svårt då mycket av deras arbete bygger på interaktion med fysiska prototyper för att utvärdera fysisk ergonomi. Ett sätt att reducera tillverkningstiden är att göra simplare prototyper som är lättare att tillverka men som uppfyller samma fysiska krav som en

mer komplex prototyp, och använda digitala prototyper som kompletterar mer komplexa visuella egenskaper. Oavsett komponenter i en prototyp så är korrekta detaljer, former, och mått ett krav där de har interaktion med en slutanvändare för att kunna utvärdera ergonomiska egenskaper korrekt. Prototyperna behöver då inte vara så pass realistiska som de är idag till utformningen, så länge de ytor som interaktionen sker vid är korrekta. Övriga delar på prototyperna skulle då kunna vara simplare, exempelvis raka, eller borttagna om de inte har ett behov av att interageras med fysiskt. Om de fysiska prototyperna kan simplificeras kan man spara tid vid tillverkning och på så sätt använda prototyperna snabbare.

Arbetet visar på att det finns digitala lösningar som är tillräckligt utvecklade för att kunna användas till utvärdering av ergonomiska egenskaper. För ergonomisk utvärdering innebär dock digitala prototyper en utmaning då det är svårt att utvärdera fysisk ergonomi enbart med digitala metoder. Även om det finns verktyg idag som digitala manikiner för att kolla på fysiska belastningar i vissa moment så kan det vara svårt att översätta den upplevda känslan och relatera till den. Med användning av en Teslasuit skulle tester då man utvärderar komfort då man lutar mot något inte kunna användas då dräkten tvingar kroppen att spjärna emot med egna muskler vilket förändrar uppfattningen av hur ett avslappnat läge känns. På så sätt är fysiska prototyper klart överlägsna när det gäller att känna efter hur något känns då man kan ta på dem och direkt uppleva hur deras utformning påverkar kroppen ur ergonomiskt perspektiv. Än mer påtagligt är det vid arbete där små marginaler kan göra väldigt stor skillnad, exempelvis där fingertoppskänslan är avgörande kan mått på enstaka millimeter vara helt avgörande för känslan och uppfattningen. I de lägena är fysiska prototyper ofrånkomliga.

Då Ergonomiavdelningen arbetar med att utvärdera bland annat fysisk ergonomi genom rörelser är det väldigt viktigt att sinnesuppfattningen stämmer överens för att resultatet av tester och utvärderingar inte blir påverkade av andra faktorer. Om en digital visuell representering av ett fysiskt objekt i en XR-miljö inte stämmer överens med var det fysiska objektet befinner sig i verkligheten så kommer interaktionen i digital miljö antagligen inte att bli identisk som den skulle bli i verklig miljö då sinnesuppfattningen inte stämmer överens. Även väldigt små skillnader mellan digital och fysisk miljö kan påverka Ergonomiavdelningens arbete så pass att det kan leda till felaktiga slutsatser vid arbete i en digital miljö integrerad med fysisk miljö. För Ergonomiavdelningens arbete är det därför extremt viktigt att diskrepanser inte finns mellan fysisk och digital miljö om dem skulle användas vid utvärdering.

Ett av problemen med deras nuvarande system är att flera personer inte kan vara inne i den virtuella miljön och arbeta samtidigt, då det bara finns en HMD-enhet med tillhörande fysisk miljö. Övriga kan endast se den virtuella miljön via en datorskärm. Det saknas också ett

gränssnitt för att kommunicera vad man aktivt kollade på, vilket också kan leda till dålig kommunikation mellan HMD- och icke HMD användare. Detta skulle kunna åtgärdas genom att flera användare samtidigt skulle kunna vara i samma digitala miljö med ett inbyggt gränssnitt som man exempelvis kan peka på detaljer med. Med extra HMD-enheter hade det också varit bra att kunna skifta mellan olika lägen; att kunna ha sitt eget perspektiv i den digitala miljön, men också att kunna se en annans perspektiv i miljön, det vill säga använda samma bild i flera HMD-enheter baserat på en HMD-användares bild.

## 5.2 Hållbarhetsperspektiv

Vad gäller digitala prototyper kan man lätt föreställa sig att en digital prototyp är mer miljövänlig än en fysisk prototyp då det används resurser för att tillverka en fysisk prototyp med olika tillverkningsmetoder. Digitala prototyper använder på så sätt bara energi vid tillverkningen av just prototypen. En intressant inblick i samband med detta är tillverkning av fysiska prototyper kan göras med många olika maskiner beroende på vad prototypen ska användas till. En komplex prototyp kanske måste tillverkas med flera olika maskiner och material, men simplare prototyper kanske kan tillverkas med färre moment och material. Maskinerna som används för tillverkningen kan dessutom vara i bruk länge och går material att återanvända kan man även spara resurser. På så sätt kan material och maskiner tillverka många prototyper under hela deras livslängd.

Den digitala hårdvaran som används för digital visualisering, som datorer, skärmar, och HMD-enheter, måste uppdateras frekvent för att vara konkurrenskraftig allteftersom ny hårdvara finns tillgänglig på marknaden. För enheter som slutar fungera kan ett nyköp av ett ersättande exemplar lättare i stället för felsökning och reparation, speciellt om det går snabbare att ersätta med ett nytt exemplar.

Eftersom digitala prototyper som ska renderas i en XR-miljö också behöver prestandamässigt stark hårdvara för att klara av renderingen bör man överväga ur en hållbarhetssynpunkt om det är rimligt att införskaffa så mycket hårdvara regelbundet. Den hårdvara som införskaffas innehåller väldigt många komponenter vilket betyder att tillverkningsprocessen också är komplicerad och det är svårt att kartlägga miljöpåverkan. Man kan också ifrågasätta resursbesparingen, om det är möjligt att kunna leverera ett XR-system som helt utesluter fysiska prototyper och som klarar av att med bara digitala prototyper nå målen så är det sannolikt resurssparande. Blir den digitala prototypen bara en ytterligare del i verksamheten, och man behåller alla fysiska prototyper ändå blir det istället en ökning av resursförbrukning.

Det är också stor skillnad mellan verksamheterna som beställer fysiska prototyper från Concept Center när det gäller användning av prototyperna. Vissa beställer många prototyper som används en enstaka gång, andra behåller och återanvänder prototyperna återkommande. Det kan då vara motiverat att försöka använda digitala prototyper vid hög omsättning och minska behovet av fysiska prototyper.

## 6 Slutsats

I dagsläget saknar Concept Center vissa kompetenser för att leverera digitala prototyper, och om behovet av framtida digitala prototyper ska tillgodoses så måste kompetens inom visualisering och olika XR-system införskaffas, bland annat XR-HMD-system, visualisering av digitala modeller, och digitala miljöer för virtuell verklighet. Eftersom det är omfattande områden bör man skaffa en grundläggande kompetens som därefter kan utökas efter behov som hittas hos Concept Centers kunder. Behoven bygger på målen i kundernas verksamhet som måste identifieras av Concept Center som därefter kompletterar specifik kompetens inom XR-system som behövs för att leverera digitala prototyper som tillgodoser kundernas behov.

Arbete med fysiska prototyper kan i stor utsträckning digitaliseras genom att använda XR-teknik. Det viktiga är dock inte att digitalisera momenten som utförs i sig, det är för målen som ska uppnås man måste hitta en digital metod. Digitala prototyper kan på så sätt användas i stället för fysiska prototyper. För Concept Center betyder detta att de måste ha förståelse om hur deras nuvarande kunder arbetar för att kunna digitalisera deras arbetsuppgifter med hjälp av digitala prototyper i XR-miljö, samt att de måste införskaffa kompetens inom XR-system för att förstå möjligheter och begränsningar med olika system och hårdvarulösningar. Det finns ingen universallösning på utformning av ett XR-system som passar till alla uppgifter, det krävs en bedömning i varje enskilt fall för att få bästa möjliga användning av digitala prototyper. Det kan vara motiverat att inkludera flera XR-system åt en kund istället för att kompromissa bort funktioner för att begränsa en leverans till att bara innehålla ett system.

Digitala prototyper med tillhörande system måste bidra till att uppfylla de mål som respektive kund har. Det innebär inte bara att de ska innehålla de funktioner som behövs för att genomföra en uppgift i XR-miljö som hjälper verksamheten, de måste uppfylla kraven som möjliggör användning av systemet ur ett användarperspektiv. Det innebär bland annat prestanda och utformning på systemet, som fysiska komponenter, eller buckar som stöd. I de fall då fysiska prototyper måste användas på grund av deras fysiska egenskaper är det inte alltid realistiskt att försöka ersätta dem digitala prototyper, men det kan vara motiverat att använda digitala prototyper i samband med fysiska för att minska resursförbrukningen och arbetstiden som krävs för fysiska prototyper.

## Källförteckning

- 3DEXCITE. (2021) *3DEXCITE DELTAGEN*. Hämtad från:  
<https://www.3dexcite.com/en/3dexcite-deltagen/deltagen-overview/>
- Aromaa, S. & Väänänen, K. (2015).  
*Suitability of virtual prototypes to support human factors/ergonomics evaluation during the design*, Applied Ergonomics, Volume 56, 2016, s. 11-18. Hämtad från:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003687016300333?via%3Dihub>
- Autodesk. (2021) *VRED*, Hämtad från:  
<https://www.autodesk.se/products/vred/overview?term=1-YEAR>
- Blomberg, K. (2017). *Immersive technology aided design operations*, Chalmers tekniska högskola, Institutionen för Industri- och Materialvetenskap. Hämtad från:  
<https://hdl.handle.net/20.500.12380/252014>
- Dealessandri, M.(2020) *What is the best game engine: is Unity right for you?* , Hämtad från:  
<https://www.gamesindustry.biz/articles/2020-01-16-what-is-the-best-game-engine-is-unity-the-right-game-engine-for-unity>
- HTC. (2021) *Vive*, Hämtad från: <https://www.vive.com/us/product/vive-virtual-reality-system/>
- IEEE (2021) Standard for Head-Mounted Display (HMD)-Based Virtual Reality(VR) Sickness Reduction Technology, *IEEE Std 3079-2020* , Hämtad från: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9416950>
- Google Developers (2018). *Degrees of freedom*, Hämtad från:  
<https://developers.google.com/vr/discover/degrees-of-freedom>
- IrisVR. (2021) *The Importance of Frame Rates*. Hämtad från: <https://help.irisvr.com/hc/en-us/articles/215884547-The-Importance-of-Frame-Rates>
- Irvine, K. (2017), *XR: VR, AR, MR – What's the difference?* , Viget, Hämtad från:  
<https://www.viget.com/articles/xr-vr-ar-mr-whats-the-difference/>
- Johansson, N. (2018) *Varför Mixed Reality är en problematisk term för VR/AR*, Immersivt. Hämtad från: <https://www.immersivt.se/mixed-reality-problematisk-term-vr-ar/>
- Kim, C., Lee, C. , Lehto, M.R., Yun, H.W., (2011), *Affective Evaluation of User Impressions Using Virtual Product Prototyping*, Human factors and ergonomics in manufacturing & service industries, januari-februari 2011 s. 1-13. Hämtad från:  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/hfm.20210>

Lang, B. (2017), *HTC Vives Are Shipping with Tweaked Base Stations, Redesigned Packaging*, Hämtad från: <https://www.roadtovr.com/latest-vive-shipping-with-tweaked-base-stations-redesigned-packaging/>

Lawson, G., Salantitri, D., Waterfield, B., (2015), *Future directions for the development of virtual reality within an automotive manufacturer*, *Applied Ergonomics* v. 53 part B, mars 2016, s. 323-330. Hämtad från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003687015300260>

LBX Immersive. (2020), *Specs*, LBX Immersive. Hämtad från: <https://lbximmersive.com/products/varjo-xr-1/>

Mechatech (u.å.). *What is a 3 DoF vs a 6 Dof in VR?* Hämtad från: <https://www.mechatech.co.uk/journal/what-is-a-3dof-vs-6dof-in-vr>

Microsoft. (2021) *Why Hololens*, Hämtad från: <https://www.microsoft.com/sv-se/hololens/>

Moehring, M., Gloystein, A. & Doerner, R. (2009), *Issues with Virtual Space Perception within Reaching Distance: Mitigating Adverse Effects on Applications Using HMDs in the Automotive Industry*, 2009 IEEE Virtual Reality Conference (2009), s. 223-226, doi: 10.1109/VR.2009.4811027. Hämtad från: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4811027>

Slater, M. (2009). *Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments*. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Serie B, Biological sciences*, 364(1535), s. 3549–3557. Hämtad från: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2781884/>

Valve Software. (2021) *Index*, Hämtad från <https://www.valvesoftware.com/en/index/headset>

Varjo. (2019) *Varjo's XR-1 Developer Edition Now Available and Shipping*, Hämtad från: <https://varjo.com/press-release/varjos-xr-1-developer-edition-now-available-and-shipping/>

Visbox. (2020) *Cave Automatic Virtual Environment*, Hämtad från: <http://www.visbox.com/products/cave/>

VRS. (2017) *Head-mounted Displays (HMDs)*, Hämtad från: [https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-gear/head-mounted-displays/?fbclid=IwAR0-UL\\_WaPJfx0RtFfaWz-4RDkiTYB-vb4tE-lrHn9uGywfQRpw4sSv\\_k-Q](https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-gear/head-mounted-displays/?fbclid=IwAR0-UL_WaPJfx0RtFfaWz-4RDkiTYB-vb4tE-lrHn9uGywfQRpw4sSv_k-Q)

## Bilaga 1 – Intervjufrågor

### Intervjufrågor 1

Vad är ert förhållande till concept center idag? hur ofta beställer ni prototyper? Vad för prototyper? Snabbt/långsamt? Hur beroende är ni av concept center?

Hur ser er verksamhet ut? Vad är era huvudsakliga uppgifter? Hur ser arbetsförloppet ut med några typiska uppgifter?

Hur ser ert arbetssätt ut? Jobbar ni fysiskt eller digitalt, eller båda? Vad göra att ni jobbar på just det sättet? Vilka metoder och program använder ni?

Vilka utmaningar har ni med ert arbete i dagsläget? Uppgifter som ni inte kan lösa? Uppgifter som är svåra att lösa? Är ni i beroendeställning för att lösa vissa uppgifter?

Hur ser ert arbete med hållbarhet ut? Är något uppenbart som måste åtgärdas? Finns det saker ni inte kan åtgärda? Kan XR åtgärda något?

Finns några begränsningar i er verksamhet ni i dagsläget inte har lösningar på? Någon uppgift ni inte kan lösa med ert arbetssätt?

Är XR ett område ni letat efter lösningar i? Använder ni XR idag? Vilken lösning och varför?

Vilka är utmaningarna för Mixed Reality i ert arbete?

Har ni någon idé om vilken plattform som ska användas för att bygga en VR miljö?

Har ni tagit inspiration för sättet ni arbetar på med VR och AR?

Hur förhåller sig teamet till begränsningar med VR, AR och XR?

### Intervjufrågor 2

Vad är det ni gör på verksamheten? Specifika arbetsuppgifter? Din roll?

Hur går arbetsuppgift X till?

Använder ni er av Koncept center idag? till vad?

Använder ni XR i någon mån i er verksamhet?

Är ni vana med tekniken eller tror ni kommer att behöva använda er av den framöver? (XR, VR och AR)

Hur kommer XR påverka ert arbete?

Vad för typ av produkt beställer ni prototyper på?

Testar ni något specifikt? Hur går testet till? Vilka krav ställs på testet?

Vad har ni för målsättning med prototypen? Vad uppnår ni med den som ni inte gör utan prototypen?

Uppdateringsfrekvens på prototyper? Hur ofta beställer ni? Hur ofta skulle ni vilja testa nya prototyper / få feedback på design?

Hur går beställningen till? Skickar ni en CAD-fil eller ritning? Arbetar Koncept center fram någonting själva?

Har ni en tidsram som måste förhållas?

Ska man kunna göra förändringar under tillverkningen?

Måste prototypen vara tillverkad på ett specifikt sätt?

Hur är kommunikationen mellan er och Concept Center?

Hur använder ni prototypen?

Vilka Specifika funktioner behöver prototypen?

Behöver ni en fysisk prototyp? Vad är begränsningarna och kraven? Haptisk feedback?

Finns det visuella krav, färg, material, textur, realism?

Ska den monteras på ett specifikt sätt i en back? Är den fristående?

Vad finns det för krav/begränsningar att göra en digital prototyp?

Om man skulle göra en digital prototyp, vad skulle saknas med den?

Har du någon uppfattning för fördelar och nackdelar för en digital prototyp?

Har ni funderat på att använda digitala prototyper med hjälp av t.ex. VR, AR, XR? Varför inte? Är ni medvetna om begränsningarna i VR/AR/XR?

Kort om hållbarhet: Har ni någon hållbarhetsstrategi på din avdelning?

Har ni några hållbarhetsmål? Hur arbetar ni mot dem?

Har ni tänkt på några hållbarhetsaspekter specifikt kring arbetet med prototyperna som ni arbetar med i nuläget?

Anpassar ni verksamheten mot hållbarhet eller går verksamheten först?

Kan vi komma på besök? observera arbetet?

### Intervjufrågor 3

Vad gör ni inom området för VR?

Vad använder ni för VR hårdvara/mjukvara?

Varför använder ni just dem?

Har ni erfarenhet av andra system avseende hårdvara/mjukvara?

Kan du berätta lite mer hur era/de olika systemen funkar?

Fördelar & nackdelar med systemen?

Digital och fysisk kalibrering för ergonomi - hur skulle man göra?

Vilka svårigheter finns?

Vilka möjligheter finns?

Vilka är begränsningarna?

Kan man använda följarfunktion, dvs en som ser vad en annan ser?



INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH  
MATERIALVETENSKAP  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA



**CHALMERS**