

Henri Riissanen

# YHDISTETYN TODELLISUUDEN SO- VELLUSKEHITYS UNITY-PELIMOOT- TORIN AVULLA

Opinnäytetyö

Liiketalouden ammattikorkeakoulututkinto

Tietojenkäsittelyn koulutus

2022



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**



Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu

Tutkintonimike	Tradenomi (AMK)
Tekijä/Tekijät	Henri Riissanen
Työn nimi	Yhdistetyn todellisuuden sovelluskehitys Unity-pelimoottorin avulla
Toimeksiantaja	Xamk / OpRake -hanke ja Game Studios -hanke
Vuosi	2022
Sivut	49 sivua
Työn ohjaaja	Jukka Selin

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä tutkitaan yhdistetyn todellisuuden sovelluskehityksen tilannetta työn kirjoittamisen aikana. Työssä määritellään erilaiset todellisuudet, joille luotua teknologiaa on nyt olemassa. Lopuksi esitellään tutkimusongelmaa varten kehitetty yhdistetyn todellisuuden esimerkkisovellus. Ennen tätä kuitenkin käydään läpi muutamien yhdistetyn todellisuuden kehitystyökalujen ja ominaisuuksien käyttöä ja nykytilaa.

Toinen opinnäytetyössä tutkinnan alla ollut aihe liittyy liikkeenkaappauksen toteutukseen Unity-pelimoottorin humanoid-hahmolle. Liikkeenkaappauksessa käytettiin Xamk Game Studios -hankkeen hankkimaa, Rokoko Electronicsin valmistamaa Rokoko Smartsuit Pro II -liikkeenkaappauspukua. Opinnäytetyössä käydään käytännönläheisesti läpi liikkeenkaappauksen tuotantoprosessin vaiheita perustasolla, minkä jälkeen opastetaan varsinainen liikkeenkaappauksen prosessi annettujen tavoitteiden mukaan.

Opinnäytetyön selvityksien tulokset tiivistyvät esimerkkisovelluksessa, jossa tutkimusongelmana HoloLens 2 -laseille kehitetyssä yhdistetyn todellisuuden sovelluksessa havainnollistetaan nykyisiä työkaluja ja ominaisuuksia Unity-pelimoottorille. Tämän lisäksi liikkeenkaappausta Rokoko Studio -sovelluksella havainnollistetaan omassa luvussa sekä esimerkkisovelluksen opashahmon toteutuksessa.

Lopuksi työssä tiivistetään lyhyesti yhdistetyn todellisuuden nykytila ja analysoidaan tulevaisuuden kehityssuuntia. Tämän lisäksi nykyistä tilannetta ja teknologian potentiaalisuutta analysoimalla esitetään muutamia ennustuksia tulevaisuuden näkymistä ja siitä, mihin teknologiaa voitaisiin hyödyntää jatkossa, kunhan olemassa olevat haasteet saadaan ratkaistua.

Opinnäytetyö on tarkoitettu käytännönläheiseksi oppaaksi, mutta se sisältää myös perustason teoriaa aiheisiin liittyvistä teknologioista. Työn tarkoituksena on tarjota mahdollisimman kattava ja tuore katsaus nykytilaan, ja sen pohjalta lukija voi lähteä tutkimaan aihetta laajemmin itsenäisesti. Työssä esiintyvät käsitteet ovat myös hyvin yleisiä kaikessa yhdistetyn todellisuuden teknologiassa, eivätkä päde pelkästään esimerkkisovelluksessa käytettyihin teknologioihin.

**Asiasanat:** lisätty todellisuus, virtuaalitodellisuus, yhdistetty todellisuus, liikkeenkaappaus

Degree title	Bachelor of Business Administration
Author (authors)	Henri Riissanen
Thesis title	Mixed reality software development using Unity game engine
Commissioned by	Xamk / OpRake project and Game Studios project
Time	May 2022
Pages	49 pages
Supervisor	Jukka Selin

## ABSTRACT

The main objective of the thesis was to investigate the current situation with mixed reality software development using the Unity game engine. The secondary objective of the thesis was to investigate the usage of Rokoko motion capture environment to be used in creating animated characters for mixed reality experiences. The two objectives were given as separate commissions by two different thesis commissioners. The application was created for the Xamk OpRake project. The Rokoko motion capture research was done for the Xamk Game Studios project.

First, the different realities and their details were defined before introducing different mixed reality examples and features. The features were researched in order to use them in an example application showcasing the current abilities of the HoloLens 2 mixed reality platform. The process of capturing motion using Rokoko Smartsuit Pro II was used in creating the mixed reality guide for the application.

In conclusion the current mixed reality features are very useful in the creation of mixed reality experiences for HoloLens 2 platform. Different features can be used as they are in simpler applications, but more sophisticated use cases need their own code to be created. Also, the usage of Azure Spatial Anchors and World Locking Tools features makes it possible to anchor the experience in relation to the real-world features. This allows developers to create world-locked experiences that can be accessed multiple times over time or have multi-user capabilities. Some game engine specific features can be performance heavy and using them might not be desirable on wireless devices. Understanding performance requirements is an important part of creating accessible mixed reality experiences.

**Keywords:** augmented reality, virtual reality, mixed reality, motion capture

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	LAAJENNETUT TODELLISUUDET.....	7
2.1	Lisätty todellisuus ja virtuaalitodellisuus .....	7
2.2	Mixed Reality eli yhdistetty todellisuus.....	8
2.3	Yhdistetyn todellisuuden sovelluksia .....	10
2.4	HoloLens 2 .....	10
3	YHDISTETYN TODELLISUUDEN SOVELLUKSIIN TARJOTTAVIA TYÖKALUJA JA OMINAISUUKSIA .....	11
3.1	Mixed Reality Toolkit ja Mixed Reality Feature Tool tarjoavat työkaluja helpottamaan MR-sovelluskehitystä.....	11
3.2	Azure mixed reality palvelut.....	13
3.2.1	Azure Spatial Anchors eli paikkaperustaiset ankkurit .....	13
3.2.2	Azure Remote Rendering eli palvelinperustainen grafiikan käsittely.....	16
3.3	World Locking Tools lukitsee koko virtuaalisen kokemuksen oikeaan maailmaan	17
3.3.1	Ongelma hologrammien sijoittamisessa .....	17
3.3.2	Ratkaisu liukuviin hologrammeihin.....	18
3.4	OpenXR tuo yhteisen rajapinnan kaikille todellisuuksille .....	19
4	LIIKKEENKAAPPAUS ROKOKO STUDIOLLA JA VIENTI UNITYYN HUMANOID- HAHMOLLE .....	20
4.1	Motion Capture eli liikkeenkaappaus .....	21
4.2	Rokoko Smartsuit Pro II -liikkeenkaappauspuku.....	22
4.3	Liikkeenkaappauksen prosessi Rokoko Studiolla .....	23
4.4	Kaapatun liikkeen vienti 3D-malliksi Unitylle.....	27
5	YHDISTETYN TODELLISUUDEN MUSEO-OPAS -ESIMERKKISOVELLUS .....	31
5.1	Sovelluksen suunnittelu ja toteutus.....	31
5.1.1	Ohjauspaneeli ja näyttelykohteen peliobjekti .....	32
5.1.2	Oppaan animointi hyödyntäen Animator Controller- ja inverse kinematic - ominaisuuksia.....	35

5.1.3	Oppaan käyttäytymisen hallinta tilakoneella käyttäen Surge-työkalua.....	36
5.1.4	Virtuaalisen ympäristön asettelu ja lukitseminen oikeaan maailmaan Azure Spatial Anchors- ja World Locking Tools -ominaisuuksien avulla .....	37
5.2	Sovelluksen toiminta käytännössä.....	39
5.3	Kohdatut haasteet ja ongelmat, sekä huomioita kehityskohteista.....	43
6	LOPUKSI .....	44
	LÄHTEET.....	47

## 1 JOHDANTO

Laajennetut todellisuudet kattavat paljon erilaisia määritelmiä ja teknologioita. Nykypäivänä jo hyvin yleisiksi ja ihmisille tutuiksi tulleet laajennetut todellisuudet ovat lisätty todellisuus (augmented reality) ja virtuaalitodellisuus (virtual reality). Teknologia kehittyy kuitenkin kaiken aikaan, ja nyt maailmalla alkaa näkyä seuraava todellisuuden askel, yhdistetty todellisuus (mixed reality), jossa virtuaalinen maailma halutaan tuoda entistä voimakkaammin osaksi ihmisten jokapäiväistä elämää ja kokemuksia.

Opinnäytetyössä tutkitaan yhdistetyn todellisuuden nykytilaa ja tulevaisuuden näkymiä. Toisena tutkimuskohteena on uusimmat liikekaappauksen menetelmät, joiden avulla perinteisesti kalliit ja työläät menetelmät, joiden hyödyntämiseen vain suurilla yrityksillä on ollut varaa, voidaan korvata taloudellisemmilla ratkaisuilla. Tutkittavien aiheiden välille löydetään myös yhteys yhdistetyn todellisuuden sovelluskehityksessä ja sitä tutkitaan esimerkkisovelluksen avulla.

Opinnäytetyössä on toteutettu kaksi eri selvitystä kahdelle toimeksiantajalle: Selvitys sensoripohjaisesta liikekaappausteknologiasta käyttäen Rokoko Smartsuit Pro II -pukua ja sillä kaapatun liikkeen viennistä ja käytöstä Unity-pelimootorissa on tehty toimeksiantona Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Xamk Game Studios -hankkeelle. Selvitys yhdistetyn todellisuuden sovellusten kehittämisen nykytilasta HoloLens 2 -laitteelle on tehty toimeksiantona Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Oppiva rakentaminen -hankkeelle, ja selvityksen tiedot hyödyttävät myös hankkeen yhteistyökumppanina toimivaa yritystä, Rakennusliike U Lipsanen Oy:tä.

Opinnäytetyötä voidaan käyttää sellaisenaan oppaana. Työssä neuvotaan liikekaappauksen toteutus Rokoko -ympäristössä Unity-pelimootorin humanoid-hahmolle sekä yhdistetyn todellisuuden sovellusten kehittämiseksi käyttäen Unitya ja Microsoftin tarkoitusta varten kehittämiä ominaisuuksia ja työkaluja. Monet tutkitut teknologiat ja menetelmät tulevat muuttumaan hyvinkin nopeasti, eikä opinnäytetyö pysy täysin ajankohtaisena ikuisesti, mutta suurem-

mat suuntaukset pysyvät pidempään muuttumattomina ja opinnäytetyön sisältämää tietoa voidaan käyttää suunnannäyttäjänä sille, mistä löytää lisää tietoa käsitellyistä aiheista.

Opinnäytetyön aluksi määritellään käsite yhdistetty todellisuus lisätyn todellisuuden ja virtuaalitodellisuuden avulla. Esimerkkisovelluksen esittelyn helpottamiseksi luvussa kolme käydään läpi erilaisia yhdistetyn todellisuuden sovellusten kehitykseen luotuja työkaluja ja ominaisuuksia. Luvussa neljä on selvitys liikekaappauksen suorittamisesta Unity-pelimoottorille, ja siinä käytetään Rokoko Smartsuit Pro II -pukua. Lopuksi ennen yhteenvetoa esitellään HoloLens 2 -laitteelle kehitetty yhdistetyn todellisuuden esimerkkisovellus, jossa kaikki opinnäytetyössä käytetyt teknologiat ja ominaisuudet esitellään ja niiden mahdollisuuksia avataan enemmän.

## **2 LAAJENNETUT TODELLISUUDET**

Opinnäytetyössä tutkitaan yhdistettyä todellisuutta ja sovelluskehitystä. Käsitteen uutuuden takia sen määritelmäkään ei ole täysin yksiselitteinen, ja onkin hyvä käsitellä lyhyesti ensin perinteisemmät laajennetun todellisuuden muodot, joiden pohjalta yhdistetty todellisuus voidaan paremmin ymmärtää. Opinnäytetyössä käytetään jatkossa todellisuuksista niiden suomenkielisiä nimiä ja englanninkielisten nimien lyhenteitä AR, VR ja MR.

### **2.1 Lisätty todellisuus ja virtuaalitodellisuus**

Lisätyllä todellisuudella tarkoitetaan teknologioita, joiden tarkoituksena on parantaa ja täydentää oikean maailman kokemuksia liittämällä käyttäjän ympäristöön virtuaalista sisältöä. Näin AR-todellisuuden kokijalle voidaan luoda iluusio siitä, että ympäristössä on jotakin sellaista, mitä ei ole mahdollista tai kannattavaa näyttää oikeasti fyysisenä kappaleena. (Donally 2018, 15.)

AR-teknologia luo paljon uusia mahdollisuuksia esimerkiksi koulutukseen ja teollisuuteen. Ihmisen anatomiaan liittyvää opetusmateriaalia esimerkiksi elimistä voidaan näyttää opiskelijoille animoituina ja kolmiulotteisina hologrammeina tai rakennuksen arkkitehtuuria voidaan havainnollistaa pöydälle mahtuvan, pienoismallin kokoisen digitaalisen kaksosen kanssa. AR-teknologia ei rajoitu vain visuaalisiin aistikokemuksiin, vaan lisättyä todellisuutta voidaan

tuottaa myös kuuloaistin ja tuntoaistin kautta (Linowes & Babilinski 2017, 9; Glover & Linowes 2019, 308–311).

Yleisimmät alustat AR-sisällön tuottamiselle ovat tällä hetkellä Android- ja iOS-käyttöjärjestelmiin pohjautuvat mobiililaitteet ja muut AR-laitteet, kuten Microsoftin HoloLens. Mobiililaitteilla AR-sisältö liitetään osaksi näytöllä näkyvää, reaaliaikaista kameran videokuvaa. AR-laseissa linssit ovat läpinäkyvät näytöt, joiden avulla virtuaalinen sisältö piirretään suoraan näkökenttään. (Linowes & Babilinski 2017, 14–18; Glover & Linowes 2019, 312–313.)

Virtuaalitodellisuudessa käyttäjä sisällytetään osaksi kokemusta täysin virtuaaliseen ympäristöön tuottamalla uskottavia aistikokemuksia. Yleisimmät aistit, joiden kautta VR-kokemus välitetään käyttäjälle, ovat näkö- ja kuuloaisti, mutta nykypäivänä myös tuntoaisti on otettu osaksi VR-kokemusta (The Best Haptic VR... 2022). Virtuaalitodellisuuteen perustuvan kokemuksen tarjoamiseen käytetään yleensä VR-laseja oheislaitteena ja tietokonetta prosessoimaan raskasta grafiikkaa. (Glover & Linowes 2019, 7–9.)

Virtuaalitodellisuuteen perustuva kokemus voidaan tuottaa monin erilaisin tavoin. Virtuaalitodellisuus voi olla yksinkertaisimmillaan 360-asteisesta kuvasta tai videosta koostuva virtuaaliympäristö, jota katsellaan tietokoneelta tai VR-lasien avulla. Parhaimmillaan kokemus on pelimoottoria hyödyntämällä luotu, VR-lasien avulla saatu todentuntuinen kokemus. (Donally 2018, 17–18.)

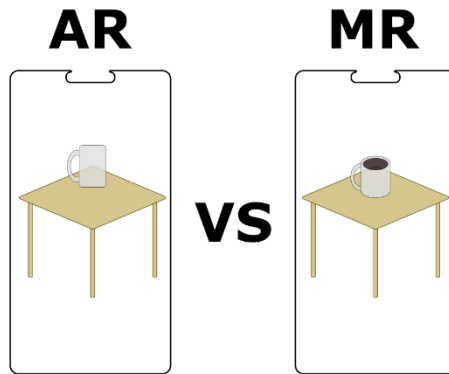
## **2.2 Mixed Reality eli yhdistetty todellisuus**

Yhdistetyn todellisuuden määritelmä on lähteestä riippuen vaihteleva ja se voidaan ymmärtää erilaisten kriteerien kautta. Donallyn (2018) mukaan yhdistetty todellisuus muistuttaa hyvin paljon lisättyä todellisuutta, mutta virtuaalisen sisällön tapa reagoida oikeaan maailmaan on kehittyneempi. Sen sijaan, että hologrammit vain sijaitsevat oikean maailman päälle lisätyllä tasolla passiivisesti, niitä voidaan manipuloida ja ne reagoivat ympäristön geometriaan.

Kuvassa 1 kuvitteellinen mobiililaitteen näkymä havainnollistaa tätä eroa. 3D-mallia kuvaava kahvimuki on kummassakin tilanteessa sama objekti, mutta



vasemmalla se näytetään suoraan edestä, eikä se ”osaa asettua ympäristöönsä”, kuten voisi olla oletuksena jossakin AR-sovelluksessa. Oikealla puolella kahvimukin malli osaa asettua ympäristössä olevan pöydän pinnan mukaisesti, jolloin se näyttää paljon realistisemmin osalta muuta ympäristöä.



Kuva 1. Lisätyn todellisuuden ja yhdistetyn todellisuuden ero objektien käyttäytymisessä

Microsoft kuvailee yhdistetyn todellisuuden sekoituksena oikeaa ja virtuaalista maailmaa. MR-kokemuksessa virtuaalisen sisällön määrä ja interaktiivisuuden taso voivat vaihdella. Yksi tärkeä ero AR- ja MR-teknologioiden välillä liittyy siihen, onko virtuaalinen sisältö interaktiivista ja miten se voi reagoida käyttäjän toimintaan ja ympäristöön. Edes uusimmatkaan mobiililaitteet eivät oikeasti sisällä teknologiaa, joka kykenisi kartoittamaan ja ymmärtämään ympäristöä, ja näiden laitteiden tarjoamat AR-kokemukset ovatkin toiminnaltaan enemmän passiivisia. (What is mixed reality? 2022.)

Tätä kantaa tukee myös Linowesin ja Babilinskin (2017, 21–22) kuvaus 3D-mallin luomisessa oikean maailman pinnanmuodoista. Mobiililaitteiden tarjoama AR-kokemus perustuu kameran videokuvaan, jonka päälle piirretään virtuaalista sisältöä, ja puhelimen kameran sijainti 3D-avaruudessa auttaa määrittämään sisällön asentoa ruudulla. Toimintaperiaate on erilainen AR-laseihin verrattuna, jotka sisältävät ympäristön 3D-skannaukseen kykeneviä sensoreita, kuten Microsoftin HoloLens. Microsoftin mukaan vasta tähän kykenevät laitteet voidaan luokitella MR-teknologiaksi (What is mixed reality? 2022).

### 2.3 Yhdistetyn todellisuuden sovelluksia

Tässä luvussa kuvataan muutamia mahdollisia sovelluksia, joita MR-tekniologia mahdollistaisi. Esimerkit ovat otettu Microsoftin dokumentaatiosta, joka koskee erilaisia yhdistetyn todellisuuden sovelluksia (Types of mixed... 2022).

Yhdistettyä todellisuutta voidaan hyödyntää käyttäjän ympäristön ja sen toiminnallisuuden kehittämiseen. Tällaisessa sovelluksessa olemassa olevien tilojen ja työkalujen käyttöä voidaan parantaa lisäämällä virtuaalista sisältöä, joka liittyy ympäristöön. Esimerkkinä tästä voisi olla virtuaaliset, keittiön tason ympäristössä leijuvat ruoanlaitto-ohjeet, jotka tarvittaessa pysyvät käyttäjän näkökentässä. Toinen käyttökohde voisi olla virtuaalinen kartta tai navigaatiosovellus isoon tehdas- tai toimistorakennukseen tai virtuaalinen opas matkailukohteeseen.

Toinen tapa hyödyntää MR-tekniologiaa on sovellus, joka rakentuu tai asettuu käyttäjän ympäristöön dynaamisesti, mutta luo uuden näkymän sovelluksen mukaan. Tällaisessa käytössä sovelluksen tarkoitus on luoda kokonaan erillinen kokemus, joka pysyy käytön aikana fyysisesti saavutettavissa ja parhailaan jopa muokkaa ympäristöä sovelluksen kontekstissa halutulla tavalla.

Esimerkkeinä voisi olla sisustussuunnitteluun tarkoitettu sovellus, jolla erilaisen kalusteiden pintakuviota ja materiaalia voidaan vaihtaa ja vertailla. Tällainen sovellus kävisi myös viihdekäytössä pelinä, jonka maailma rakentuu dynaamisesti ympäristön muotojen mukaan, vaikkapa luomalla pöydän tilalle roska-astian ja seinälle kivijalkakauppojen näyteikkunoita. Kolmas mahdollinen tapa soveltaa yhdistettyä todellisuutta olisi luoda virtuaalitodellisuuden kaltaisia kokemuksia, kuten virtuaalinen versio kuuluisasta nähtävyydestä.

### 2.4 HoloLens 2

HoloLens 2 on Microsoftin kehittämä langaton holografinen tietokone, jonka käyttäjä pukee päähänsä (kuva 2). Muotonsa ja käyttötarkoituksensa takia laitetta kutsutaan yleisesti AR-laseiksi, vaikka Microsoftin omien määritelmien mukaan kyse on yhdistetyn todellisuuden laitteesta. Opinnäytetyössä HoloLens 2 -tietokoneesta puhutaan kuitenkin laseina.



Kuva 2. HoloLens 2 -lasit

Lasien käyttöjärjestelmänä toimii muunneltu versio Windows 10 -käyttöjärjestelmästä. Lasien linssit ovat läpinäkyvät näytöt, joille virtuaalinen sisältö piirretään. Ympäristön kartoittamiseen ja käyttäjän liikkeen seuraamiseen käytetään neljää pään liikettä seuraavaa kameraa, IMU-sensoria, syvyyskameraa ja käyttäjän katsetta seuraavia kahta infrapunakameraa. Lasit seuraavat myös käyttäjän käsien eleitä, jotka toimivat ensisijaisena kontrolloimisen muotona. Muita ohjaustapoja ovat katse- ja puheenymmärrystoiminnot. (About HoloLens 2 2021.)

### **3 YHDISTETYN TODELLISUUDEN SOVELLUKSIIN TARJOTTAVIA TYÖKALUJA JA OMINAISUUKSIA**

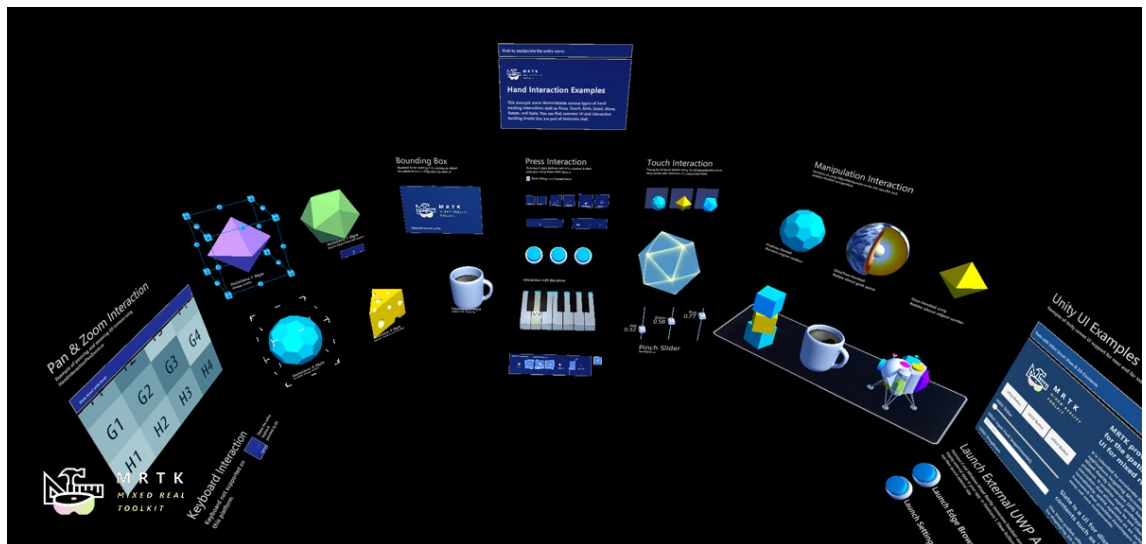
Tässä luvussa esitellään pääasiassa Microsoftin kehittämiä MR-sovelluskehitykseen käytettäviä työkaluja ja ominaisuuksia, joista on tehty selvitystä tai joita on hyödynnetty opinnäytetyön tutkimusongelman esimerkkisovelluksessa. Ominaisuuksista ja niiden toiminnasta kerrotaan yleisellä tasolla menemättä liian syväälle teknisiin tietoihin. Monet ominaisuuksista ovat uusia ja jatkuvassa kehityksessä. Tämän takia niiden toimintatavat ja sisältö voivat muuttua vaihtelevasti tulevaisuudessa.

#### **3.1 Mixed Reality Toolkit ja Mixed Reality Feature Tool tarjoavat työkaluja helpottamaan MR-sovelluskehitystä**

Mixed Reality Toolkit eli MRTK on Microsoftin projekti, jonka tarkoituksena on tarjota helppokäyttöiset ja tehokkaat kehitystyökalut ja ominaisuudet MR-so-

vellusten kehittämiseen Unity-pelimoottorilla. MRTK:n sisältämien ominaisuu-  
det ovat nopeasti käyttöön otettavia rakennuspalikoita, joita voidaan hyödyn-  
tää monenlaisissa sovelluksissa.

Monet ominaisuuksista liittyvät hyvin tyypillisiin sovelluskehityksen ongelmiin,  
kuten esimerkiksi käyttöliittymän toteutukseen. Tämän takia MRTK:ssa on pal-  
jon yleiseen käyttöön soveltuvia komponentteja, kuten painikkeita, liikusäätii-  
miä, valikoita, dialogeja, latauksen grafiikoita, ikkunoita ja selattavia listoja.  
Objektien manipulointiin ja sijoittamiseen käytetään erilaisia säätimiä ja kah-  
voja sekä automaattisesti objektin sijainnin määrittäviä komponentteja ja tela-  
koita. Näiden lisäksi MRTK:sta löytyy ominaisuuksia, jotka opastavat käyttäjää  
tai tarjoavat visuaalisia vinkkejä muiden komponenttien käyttöön, kuten kä-  
sieleiden oppaita. (Kuva 3; What is the Mixed Reality Toolkit 2022.)



Kuva 3. MRTK:n käyttöliittymän ominaisuuksia (Hand Interaction examples 2021)

MRTK:lla on myös kehitetty esimerkksiovelluksia, joissa ominaisuuksien ja  
komponenttien toimintaa voi tutkia käytännössä. Nämä ovat kehittäjille myös  
hyviä lähtökohtia soveltaa olemassa olevia toiminnallisuuksia omiin tarkoituk-  
siin. Eräs esimerkksiovellus on interaktiivinen jaksollinen järjestelmä, jossa jo-  
kaisen alkuaineen atomimallia voi tutkia ja saada tietoa sen ominaisuuksista  
(Periodic Table of the Elements 2021).

Kehitettäessä sovelluksia Unitylle, ominaisuudet asennettaisiin perinteisesti  
omina paketteina pelimoottorin kautta. Microsoft on kuitenkin kehittänyt yh-

distetyn todellisuuden työkalujen ja ominaisuuksien asentamiseen automaattisen työkalun, Mixed Reality Feature Tool (MRFT). MRFT:n avulla kehittäjät voivat löytää, asentaa ja päivittää ominaisuuksia projekteihinsa helposti. MRFT ilmoittaa myös asennuksen yhteydessä tarpeellisista riippuvuuksista ominaisuuksien välillä, joka ehkäisee riippuvuuksien puuttumisesta johtuvia ongelmia myöhemmissä vaiheissa projekteja. (Welcome to the Mixed... 2022.)

### **3.2 Azure mixed reality palvelut**

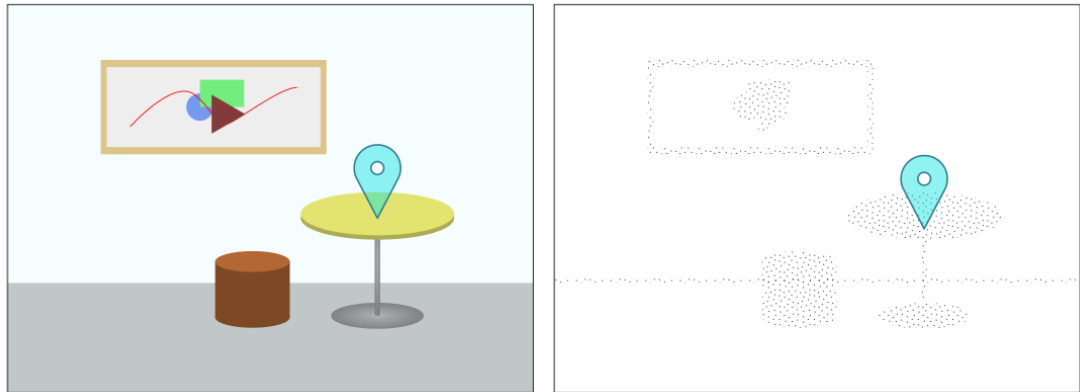
Microsoft tarjoaa yhdistetyn todellisuuden sovelluksissa käytettäväksi myös Azure-palvelinratkaisuja. Tällä hetkellä MR-sovellusten tarjoamiseen on olemassa kolme palvelimiin perustuvaa ominaisuutta: Azure Spatial Anchors, Remote Rendering ja Object Anchors (Azure mixed reality s.a.). Object Anchors on opinnäytetyön kirjoittamisen aikaan vielä varhaisessa esittelyvaiheessa, eikä virallista versiota ole julkaistu (Azure Object Anchors... 2021). Kaikkien palvelinratkaisujen käyttöönotto vaatii, että kehittäjällä on tunnukset Azure Portal -palveluun, josta ominaisuuksia voidaan ottaa käyttöön.

#### **3.2.1 Azure Spatial Anchors eli paikkaperustaiset ankkurit**

Hyvin usein yhdistetyn todellisuuden sovelluksissa halutaan hyödyntää paikakohtaisen sisällön tarjoamista. Kyseessä voi olla jokin yleiseen katseluun tarkoitettava virtuaalinen ilmoitus työpaikan taukokuoneen seinällä, mainos julkisessa tilassa, virtuaalinen nähtävyys museotilassa tai tehdashallissa teollisuuslaitteen yhteyteen liitettävä käyttöohje. Sama yhdistetyn todellisuuden näkymä voidaan myös haluta tarjota samaan aikaan usealle käyttäjälle, esimerkiksi moninpelin muodossa, jolloin sen pitäisi näkyä samanlaisena ja muuttua reaaliajassa kaikille käyttäjille.

Azure Spatial Anchors eli ASA on kehitelty tällaisia käyttötarkoituksia varten. Ominaisuuden tarkoituksena on määrittää ja tallentaa hologrammi tai hologrammien joukko ankkureiden avulla osaksi fyysisen maailman sijaintia. Tallennettu sisältö voidaan löytää myöhemmin muilla laitteilla ja käyttökerroilla, kunhan käyttäjällä on tätä ominaisuutta tukeva laite. (Azure Spatial Anchors overview 2022.)

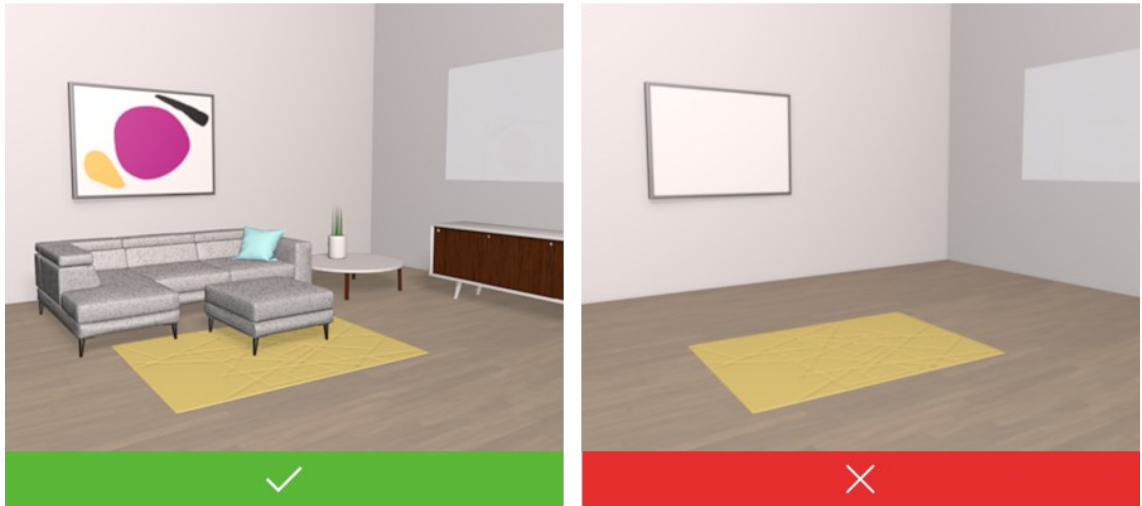
Ankkureiden toimintaperiaate perustuu laitteen kameroiden keräämään informaatioon ympäristöstä. Kerätty informaatio käsitellään laitteella pistepilveksi, joka on geometrinen esitys ympäristöstä. Kuva 4 havainnollistaa pistepilven muodostamista ja ankkurin lisäämistä. Ankkureita luotaessa tämä informaatio ympäristöstä liitetään osaksi ankkuria, kun se tallennetaan palvelimelle. (Frequently asked questions about Azure... s.a.)



Kuva 4. Pistepilven muodostaminen ja ankkurin lisääminen

Nyt, kun samaa aluetta katsellaan jollain toisella laitteella, muodostuu samanlainen pistepilvi kuin ankkuria luotaessa. Tätä ympäristöstä kerättyä tietoa lähetetään palvelimelle ja vertaillaan olemassa olevien ankkureiden tietojen kanssa. Kun yhteys löytyy, vastaava virtuaalinen sisältö näytetään uudella laitteella samassa paikassa. (Frequently asked questions about Azure... s.a.)

Yhdistetyn todellisuuden sovelluksessa, jossa ankkureita käytetään, jokaisen ankkurin sijainti kannattaa suunnitella hyvin tilan ja käyttäjän näkökulmasta. Ankkureita ei kannata yrittää luoda tilaan, jossa selkeitä visuaalisia kohteita ei ole. Tasaiset, yksiväriset tai heijastavat pinnat eivät tarjoa tarpeeksi yksityiskohtaista pistepilveä ankkureiden myöhemmälle paikantamiselle (kuva 5). Jos kohde on sellainen, että sitä voidaan lähestyä useammasta suunnasta, kannattaa tila skannata hyvin kaikista tarvittavista perspektiiveistä ennen ankkurin luontia, jotta saadaan tarpeeksi hyvä pistepilvi. (Create an effective... 2022.)



Kuva 5. Hyvä ja huono ympäristö ankkurille (Create an effective... 2022)

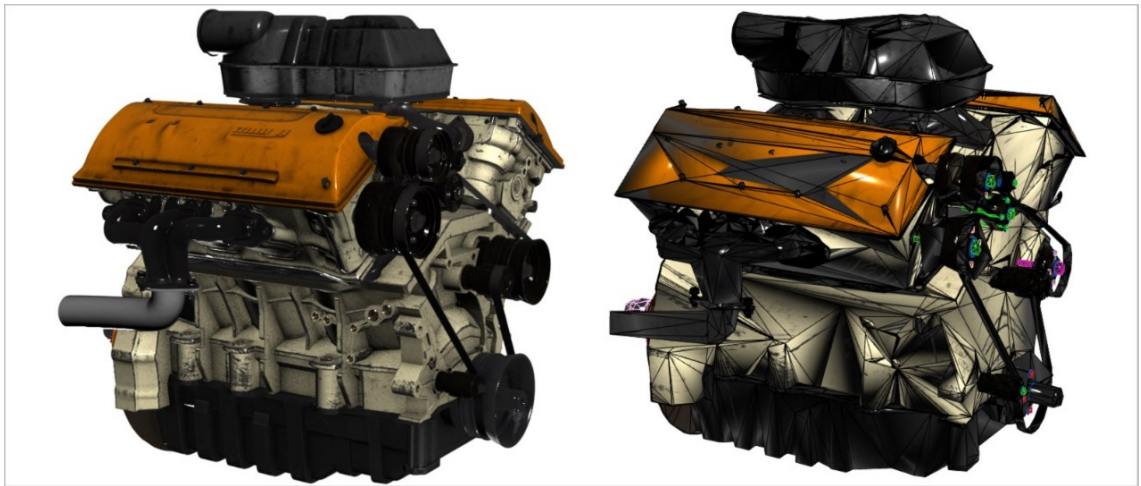
Myös valaistus vaikuttaa merkittävästi MR-laitteen muodostamaan pisteilveen. Tämän takia sellaisissa paikoissa, joissa valaistusolosuhteet vaihtelevat, kannattaa luoda useita ankkureita. Tämä pätee myös paikkoihin, joissa osa ympäristön visuaalisista elementeistä voivat vaihtaa säännöllisesti paikkaa.

Vaikka ankkureiden tarkka paikannus perustuu laitteen kameroiden keräämän tiedon pohjalta tehtyyn geometriseen esitykseen ympäristöstä, voidaan ankkureita paikantaa myös muilla menetelmillä. Karkeaksi paikannukseksi kutsutussa toimenpiteessä halutaan tietää, missä laite on maailmassa ja onko sijainnin perusteella lähiympäristössä ankkureita, joita etsiä. Karkeaa paikannusta käytetään yleensä tilanteissa, joissa virtuaalisen kokemuksen käyttöympäristö on pinta-alaltaan muutamaa huonetta laajempi. (Coarse relocation 2022.)

Karkeaa paikannusta varten ankkureihin liitetään muuta tietoa laitteen sensoreista. Ulkotiloissa tyypillisesti käytettävä karkean paikannuksen tieto perustuu laitteen GPS-koordinaattiin. Sisätiloissa karkeaa paikannusta voidaan toteuttaa WiFi-yhteyksien ja Bluetooth-majakoiden perusteella. Karkean paikannuksen pohjalta voidaan tehdä varsinainen tarkka ankkureiden paikannus. (Coarse relocation 2022.)

### 3.2.2 Azure Remote Rendering eli palvelinperustainen grafiikan käsittely

Langattomilla laitteilla, kuten mobiililaitteilla ja HoloLens 2:lla, on yleensä rajalliset resurssit sovellusten suorittamiseen. Raskaiden 3D-näkymien renderointi ja prosessorille raskaat laskutoimitukset ovat ongelmallisia tällaisilla laitteilla. Monissa käyttötarkoituksissa sovelluksen visuaalisen tarkkuuden vähentäminen huonontaa tai estää halutun kokemuksen tuottamisen (kuva 6). Esimerkiksi jonkin teollisen laitteen käyttökoulutussovelluksessa eri osia voidaan joutua renderöimään suuret määrät, joka voi työnä olla liian raskas laitteelle. (About Azure Remote Rendering 2021.)



Kuva 6. Laadukas, mutta raskas 3D-malli ja optimoitu malli, joka ei sovi sovelluksen käyttötarkoitukseen (About Azure Remote Rendering 2021)

Azure Remote Rendering eli ARR mahdollistaa raskaiden 3D-mallien renderöinnin. ARR siirtää vaadittavan työn tehokkaille näytönohjaimille ulkoisella palvelimella, joista renderöity sisältö suoratoistetaan videona. Sisältö kuitenkin pysyy interaktiivisena ja sitä voidaan manipuloida samalla tavalla kuin mitä tahansa muutakin 3D-sisältöä. (About Azure Remote Rendering 2021.)

ARR:ää käytettäessä päätelaitteen ja palvelimen välillä liikkuvan informaation määrä on suuri. Palvelimen tulee ottaa vastaan päätelaitteelta tulevat ohjauskomennot, käsitellä ne osaksi 3D-mallin manipulointia ja lähettää tästä muodostettu videokuva takaisin päätelaitteelle. Videokuvan ruudunpäivitysnopeuden pitää myös pystyä vastaamaan sovelluksen ruudunpäivitysnopeutta. (Remote Rendering Sessions 2021.)



Tämän lisäksi palvelimilla tapahtuvat graafiset prosessit voivat olla hyvinkin raskaita käyttötarkoituksesta riippuen ja tarvitsevat sen takia tehokkaan näytönohjaimen. Tästä johtuen palvelua ei voida tarjota käytettäväksi yleisille palvelimille, joilla ei edes välttämättä ole näytönohjaimia. Jokaista käyttäjää kohden varataan oma tarkoitusta varten rakennettu palvelin sen hetkisen session ylläpitämiseksi. (Remote Rendering Sessions 2021.)

### **3.3 World Locking Tools lukitsee koko virtuaalisen kokemuksen oikeaan maailmaan**

Virtuaalisen sisällön sijoittaminen suhteessa oikeaan maailmaan on MR-laitteille haastava tehtävä. Ankkurit ovat hyviä yksittäisten hologrammien kiinnittämisessä fyysiseen ympäristöön, mutta on myös tilanteita, kun halutaan lukita koko yhdistetyn todellisuuden kokemus jossakin tietyssä asennossa ympäröivään maailmaan. Tällaisen tilanteen ratkaisuksi on kehitetty World Locking Tools eli WLT.

#### **3.3.1 Ongelma hologrammien sijoittamisessa**

HoloLens -laitteet kykenevät seuraamaan käyttäjän liikettä suhteessa ympäröivään fyysiseen maailmaan ja hahmottamaan ympäristön muotoja. Sensorit toimivat parhaiten käyttäjän ollessa paikallaan, jolloin kerätty tieto on tarkkaa ja yhdenmukaista. Käyttäjän liikkuesssa sensorien keräämän tiedon laatu kuitenkin laskee, eikä laite kykene määrittämään absoluuttisia koordinaatteja millenkään sijainnille. Järjestelmän määrittämät koordinaatit hologrammeille ja käyttäjälle perustuvat viimeisimpään historiaan käyttäjän liikkeistä, mutta ne saattavat poiketa huomattavasti sovelluksen käynnissä olon koko historiaan verrattuna. (Frequently asked questions 2022.)

HoloLens -laitteen sensorien muodostaman virheen määrä saa olla noin 10 %. Täten esimerkiksi tilanteessa, jossa käyttäjä kävelee 10 metrin etäisyyden oikeassa maailmassa, sensorien keräämän tiedon pohjalta käyttäjän liike sovelluksen virtuaalisessa koordinaatistossa on jotain 9 ja 11 metrin väliltä. Jos hologrammi luodaan paikassa A, sille muodostuu automaattisesti myös virtuaalinen koordinaatti, joka on muuttumaton. Nyt kun käyttäjä liikkuu johonkin paikkaan B ja takaisin paikkaan A, lasit seuraavat liikettä myös virtuaalisessa

maailmassa, mutta johtuen sensorien pienestä virheestä, liike ei ole täysin sama, kuin oikeassa maailmassa. (World Locking Tools concepts 2022.)

Käyttäjän palatessa paikkaan A sovellus huomaa, että paikka, johon hologrammi alun perin luotiin, ei vastaa nyt siinä kohdassa olevaa uutta virtuaalista koordinaattia. Vanha koordinaatti perustui sovelluksen aiempaan käsitykseen ympäristöstä. Laitteen ymmärrys ympäristöstä päivittyy ja uudet koordinaatit perustuvat vain viimeisimpiin tietoihin liikkeestä. Tämän takia samassa fyysisessä sijainnissa oleva uusi koordinaatti voi poiketa alkuperäisestä. Sovellus päättää siksi siirtää hologrammia virheliukuman verran oikeaan suuntaan korjaukseksi, jotta hologrammin sijainti virtuaalisessa avaruudessa pysyy samana. Hologrammit voivat siis liukua pois niiltä paikoilta, johon ne ovat alun perin sijoitettu suhteessa fyysiseen maailmaan, kun käyttäjä liikkuu ympäristössään. (World Locking Tools concepts 2022.)

### **3.3.2 Ratkaisu liukuviin hologrammeihin**

Jos kaikkien hologrammien sijoittaminen perustetaan pelkkään virtuaaliseen koordinaatistoon, tapahtuu edellisessä kohdassa kuvattu virhe. Ankkureita käytettäessä hologrammit voidaan sijoittaa fyysisen maailman sijaintiin siten, että taustalla olevasta virtuaalisesta koordinaatista ei välitetä. Tämä taas johtaa ongelmiin fysiikkalaskennassa ja simulaatioissa, koska kiinteitä koordinaatteja eri objektien välillä ei ole. (World Locking Tools concepts 2022.)

WLT pyrkii korjaamaan ongelmat siten, että hologrammeilla on pysyvä virtuaalinen koordinaatti ja ne voidaan siitä huolimatta lukita suhteessa fyysiseen maailmaan. Tätä tarkoitusta varten hyödynnetään ominaisuuden Space Pin -rajapintaa. Lukitsemalla koko virtuaalinen avaruus fyysiseen maailmaan, voidaan koko ongelma ohittaa. (World Locking Tools concepts 2022.)

Virtuaalisella koordinaatistolla ei ole mitään oikeaa vastinetta fyysiseen maailmaan. Virtuaalisen avaruuden origo määräytyy aina laitteen sijainnin ja asennon mukaan sovelluksen käynnistyessä. Tästä johtuen mikä tahansa virtuaalisen avaruuden asento suhteessa fyysiseen maailmaan on yhtä pätevä. Tähän ominaisuuteen perustuu myös World Locking Toolsin ratkaisu. Hyödyntäen

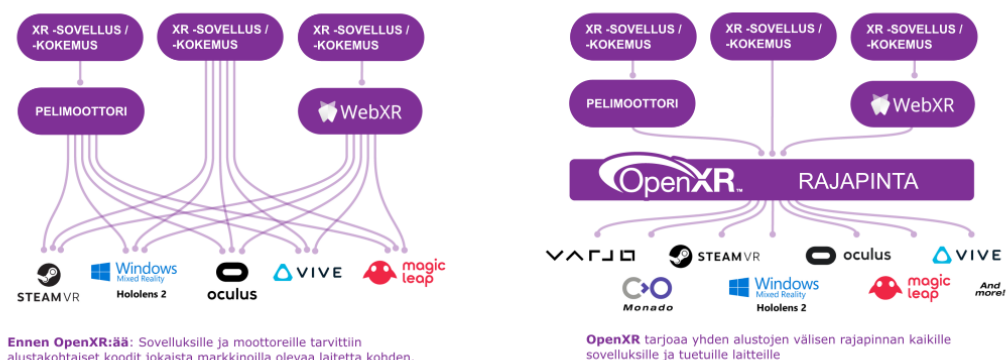
ankkureiden ympäristöön kiinnittymisen ominaisuutta, voidaan koko virtuaalinen kokemus lukita jossain asennossa ankkuriin. Nyt kaikki luodut hologrammit saavat kiinteän koordinaatin ja pysyvät paikallaan. (Space Pins 2022.)

Tämä korjaus ei vaikuta siihen, miten laite hahmottaa käyttäjän liikettä ympäristössä, joten liukumasta johtuvaa virhettä esiintyy silti. WLT korjaa tämän ongelman hyödyntämällä Space Pin -komponenteilla varustettuja kiinnikkeitä. Unityn virtuaalinen avaruus asetellaan aina sillä hetkellä käyttäjää lähimpänä olevan kiinnikkeen mukaan, jolloin käyttäjän välittömässä läheisyydessä sijaitsevat hologrammit asettuvat paikoilleen oikein. (Space Pins 2022.)

Tämä luo jonkin verran virhettä kauemmissa hologrammeissa, joiden asento perustuu vuorostaan niitä lähimpänä olevaan kiinnikkeeseen ja siihen asetettuun koordinaatistoon, mutta virhe on siedettävä, eikä aiheuta ongelmia ohjelman ajossa. Tässä järjestelmässä sovelluksen näkökulmasta mikään ei varsinaisesti muutu. Hologrammit ovat niille määritellyissä koordinaateissa ja virtuaalinen avaruus pysyy muuttumattomana. Ainoa, mikä muuttuu, on käyttäjän perspektiivi tämän avaruuden sijainnista ja asennosta oikeassa maailmassa.

### **3.4 OpenXR tuo yhteisen rajapinnan kaikille todellisuuksille**

Laajennetun todellisuuden ratkaisuja tarjoavia yrityksiä on jo monia ja jokaisella on omat alustansa AR- ja VR-kokemusten tarjoamiselle. Jos tämän lisäksi jokaisella yrityksellä olisi oma suljettu sovelluskehitysympäristö omalle alustalleen, olisi sovellusten kehittäjien todella hankala tarjota sama kokemus eri alustojen käyttäjille. Tämän takia yleinen, kaikille alustoille sopiva sovelluskehityksen ympäristö on tarpeellinen. (Kuva 7.)



Kuva 7. OpenXR -rajapinnan rooli laajennettujen todellisuuksien sovellusten kehittämisessä (Khronos Group s.a.). Kuva on käännetty suomenkieliseksi lähdemateriaalin pohjalta

OpenXR on avoimuuteen perustuva ohjelmointirajapinta Khronos Groupilta. OpenXR:n tehtävänä on tarjota yksi alusta MR-sovellusten ohjelmoinnille monille laitteille. Tämä mahdollistaa sovellusten kehittämisen samaan aikaan AR- ja VR-järjestelmille. OpenXR toimii rajapintana sovelluksen ja sitä ajavan laitteen prosessien välillä. (OpenXR 2022.)

Opinnäytetyön aikaan Microsoft suosittelee kehittäjiä käyttämään Unitylla kehitettyjen yhdistetyn todellisuuden sovellusten luontiin Unityn versiota 2020.3+ LTS ja OpenXR -rajapintaa. Mixed Reality OpenXR plugin Unitylle tarjoaa täyden tuen HoloLens 2 -laitteen ominaisuuksille ja tukee myös MRTK:ta. (OpenXR 2022.)

#### 4 LIIKKEENKAAPPAUS ROKOKO STUDIOLLA JA VIENTI UNITYYN HUMANOID-HAHMOLLE

Ennen perehtymistä Rokoko Smartsuit Pro II:n toimintaan ja käyttöön käydään läpi yleisellä tasolla liikkeenkaappauksen perusteita ja taustoja. On tärkeää ymmärtää, että kuten missä tahansa muussa median tuotannossa, myös liikkeenkaappauksen prosessiin liittyy paljon muita tuotantovaiheita pelkän kaappauksen lisäksi. Tuotantoprosessin ymmärtäminen auttaa toteuttamaan liikkeenkaappauksen tehokkaasti ja taloudellisesti ja parantaa myös lopullisen tuotoksen laatua.

## 4.1 Motion Capture eli liikkeenkaappaus

Liikkeenkaappauksessa ihmisen, eläimen tai esineen liikettä nauhoitetaan erilaisin teknologisin menetelmin ja viedään digitaaliseen muotoon, yleensä 3D-mallin animaatioksi (Kitagawa & Windsor 2008, 1). Liikkeenkaappauksen tekniikoita on monia ja niitä kehitetään lisää jatkuvasti. Perinteisemmät tavat, kuten optinen liikkeenkaappaus, jossa useiden kameroiden järjestelmät kaappaavat erityistä pukua pitävän näyttelijän liikettä studiossa, ovat edelleen kalliita ja sopivat paremmin silloin, kun on tarve tuottaa suuri määrä erilaisia animaatioita. (Kitagawa & Windsor 2008, 1; Cooper 2019, 184.)

Teknologisen kehityksen myötä edellä mainitun kaltaisten, kalliiden tekniikoiden lisäksi, erilaiset ihmisen liikettä seuraaviin sensoreihin perustuvat liikkeenkaappausteknologiat ovat yleistyneet ja tulleet edullisemmiksi. Yritykset, kuten Rokoko Electronics ja XSens, ovat kehittäneet markkinoille järjestelmiä, joiden avulla liikettä voidaan kaapata kehoon kiinnitettävien IMU-sensorien (inertial measurement unit) avulla. Ne eivät vaadi kallista kamerajärjestelmää liikkeenkaappaamiseksi. (Mikhailovsky 2017; Inertial Measurement Unit s.a.; Smartsuit Pro II s.a.)

Liikkeenkaappauksen prosessi on monivaiheinen ja sisältää tavallisesti pelkän kaappauksen lisäksi esi- ja jälkituotantovaiheita (Kitagawa & Windsor 2008, 1). Esituotanto sisältää erilaisia valmisteluja ja suunnitelman kaappauksesta. Sen tärkeimpänä hyötynä on kustannusten ja työmäärän minimoiminen varsinaisessa liikekaappauksen vaiheessa sekä koko tuotantoprosessin tehostaminen ja ongelmatilanteisiin varautuminen. (Kitagawa & Windsor 2008, 13.)

Liikkeenkaappauksen suunnitelman tarkoituksena on valmistaa näyttelijät sekä muu ryhmä varsinaista kaappausta varten. Tehokasta etenemistä varten tehdään järjestelty lista eri liikkeistä, joita kaapataan. (Kitagawa & Windsor 2008, 15–16; Cooper 2019, 188–189.) Hyvän näyttelijän valinta on myös erittäin tärkeää. Kuka tahansa ei voi toimia näyttelijänä silloin, kun liikettä kaapataan tietynlaiselle hahmolle. Tämän takia näyttelijät palkataan yleensä ulkopuolisina alan ja asiansa ammattilaisina. Esimerkiksi tanssin kaappausta varten palkataan tanssija, eikä teatterinäyttelijää (ellei tämä osaa myös tanssia hyvin). (Kitagawa & Windsor 2008, 17–18; Cooper 2019, 190–192.)

Liikkeenkaappauksen jälkeen saatu aineisto on yleensä kaappauksen onnistumisesta riippuen ”likaista” ja se tulee siivota. Tämä prosessi vaihtelee hieman riippuen kaappauksessa käytetyistä teknologioista. (Kitagawa & Windsor 2008, 47–62.) Liikettä siivotessa voidaan esimerkiksi poistaa ylimääräisiä avainkehysiksi animaation yksinkertaistamiseksi. Tämä toimii parhaiten esimerkiksi peleissä ja 3D-animaatiossa, jossa hahmot ja niiden liikkuminen ei ole realistista, vaan sarjakuvamaisen liioiteltua. Realistisemmille hahmoille liikettä voidaan siivota korjaamalla olemassa olevien animaation avainkehysten asentoa ja sijaintia aikajanalla ja tuoda näin esiin korostetusti liikkeen tarkoitus ja elävyys. (Cooper 2019, 199.)

#### 4.2 Rokoko Smartsuit Pro II -liikkeenkaappauspuku

Tiedot puvusta perustuvat Rokoko Electronicsin ilmoittamiin tietoihin pukua koskevalla sivulla (Smartsuit Pro II s.a.). Puvusta on olemassa kaksi versiota, mutta opinnäytetyön kirjoittamisen aikana ensimmäistä versiota ei enää valmisteta ja toinen, uudempi, on virallinen versio.



Kuva 8. Rokoko Smartsuit Pro II

Rokoko Smartsuit Pro II on Rokoko Electronicsin kehittämä liikekaappaukseen tarkoitettu puku (kuva 8). Puvun toiminta perustuu keskusyksikköön ja siihen langallisesti kiinnitettyihin IMU-sensoreihin. Keskusyksikön tehtävänä on kerätä sensoreista tulevat tiedot sekä yhdistää ja lähettää ne päätelaitteelle.

Keskusyksikkö muodostaa yhteyden Rokoko Studiota käyttävään tietokoneeseen WiFi-yhteyden kautta. Rokoko Smartsuit Pro II tukee sekä 2,4GHz, että

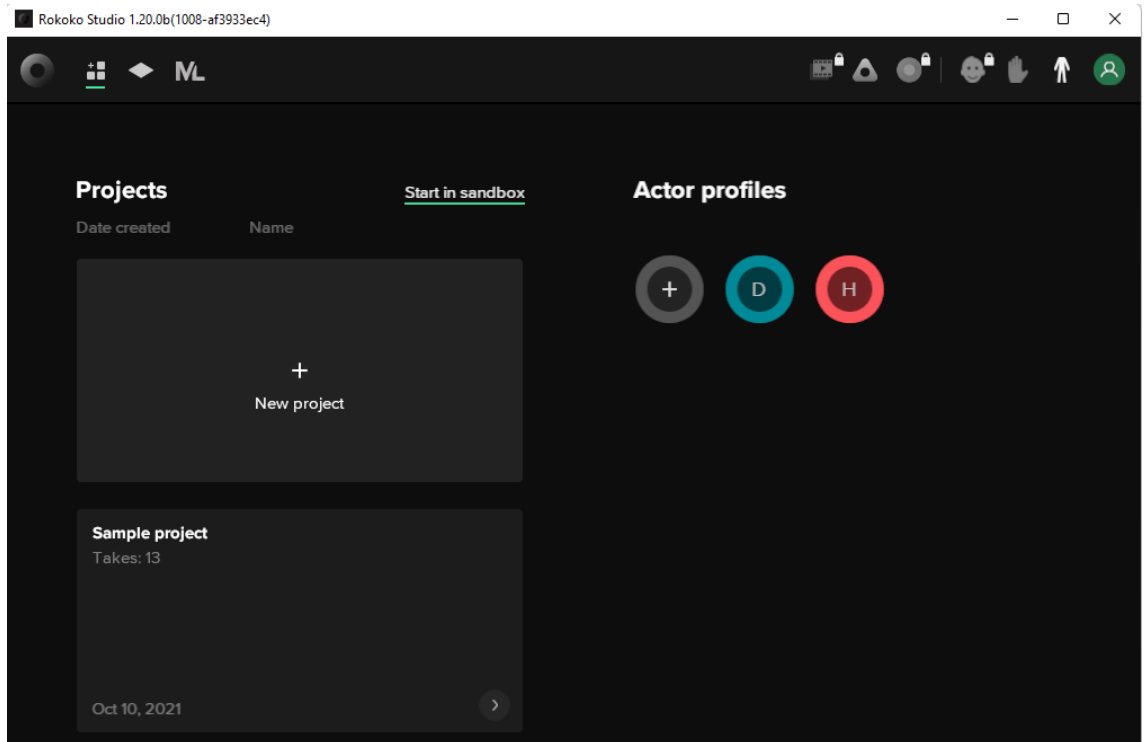
5 GHz taajuuksia. Sensoreiden keräämän datan nopeus on 200 päivitystä sekunnissa ja toimintasäteen etäisyys on ilmoitettu sataan metriin asti. Yhdistämisen jälkeen puku toimii täysin langattomasti ja tarvitsee toimiakseen vain ulkoisen virtalähteen, jossa on USB-liitäntä.

Pukuun on saatavilla lisäosina myös hansikkaat, joissa jokaisen sormen liike on kaapattavissa erikseen omilla sensoreilla. Myös kasvojen liikkeenkaappaukseen käytettävä teline on saatavana erillisenä lisäosana. Kasvojen liikkeenkaappaukseen tarvitaan iPhone X tai uudempi iOS mobiililaite sekä maksullinen Face Capture lisäosa Rokoko Studioon (Face Capture s.a.).

### **4.3 Liikkeenkaappauksen prosessi Rokoko Studiolla**

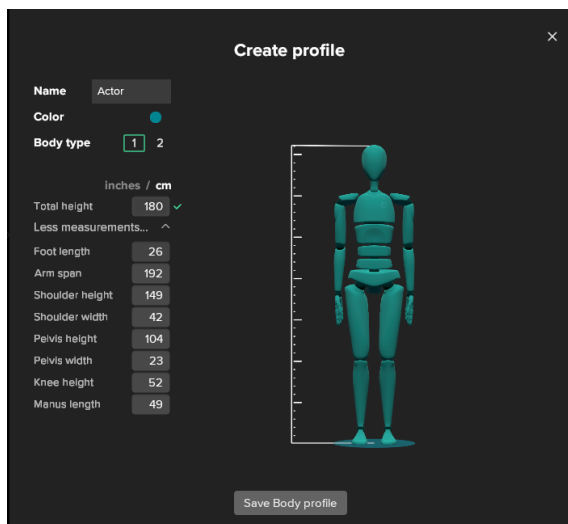
Opinnäytetyössä käytetty Rokoko Studion versio on "Legacy" 1.20.0b. Studiosta on julkaistu myös beta-versio, josta aikanaan tulee virallinen Rokoko Studio -julkaisu (Rokoko Studio Beta s.a.).

Sovelluksen käynnistyessä ensimmäinen asia, jota käyttäjältä pyydetään, on kirjautuminen omalla Rokoko ID:llä tai sen luominen. Käyttäjälle tulee myös luoda vähintään yksi tiimi, jota käytetään projektien hallintaan. Kun tiimi on luotu ja valittu, avautuu Studion Dashboard-näkymä (kuva 9).



Kuva 9. Rokoko Studio, Dashboard

Näkymässä voidaan luoda näyttelijöille profiileja, joihin henkilöiden mitat syötetään (kuva 10) sekä aloittaa uusia projekteja.



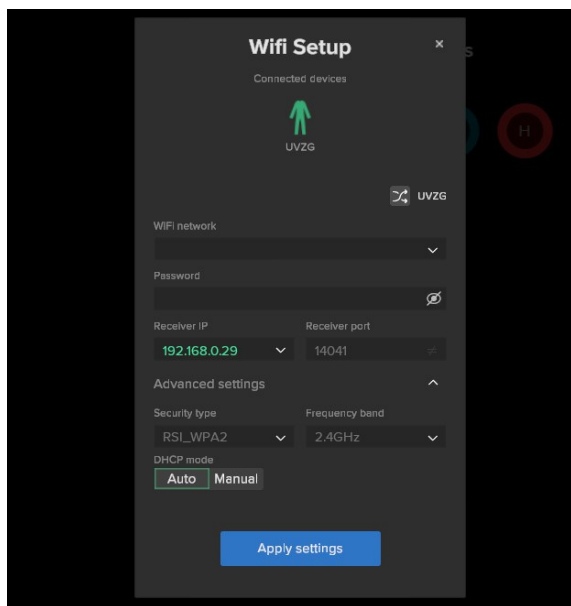
Kuva 10. Näyttelijäprofiilin luonti

Ennen projektin aloittamista puku täytyy yhdistää Rokoko Studioon. Yhdistäminen tapahtuu liittämällä ulkoinen virtalähde puvun oikeassa taskussa olevaan USB-kaapeliin ja yhdistämällä puvun alaselässä sijaitseva keskusyksikkö USB-C-kaapelilla tietokoneeseen, jossa Rokoko Studio -sovellus on



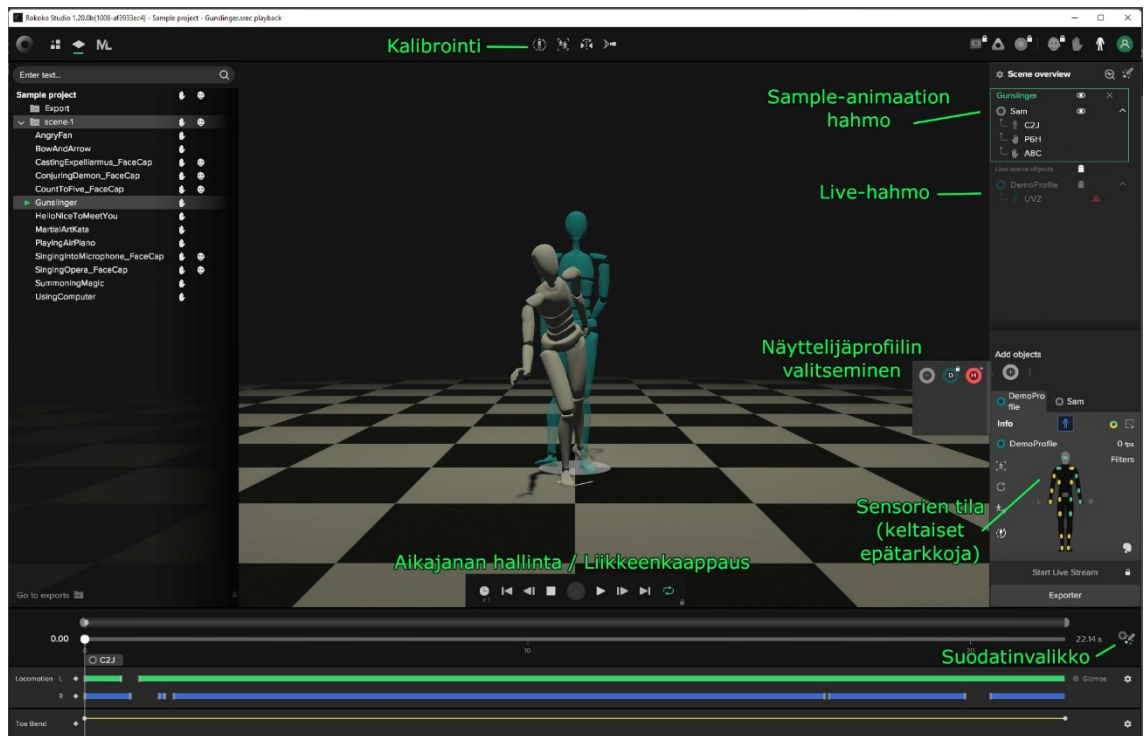
auki. Tämän jälkeen painetaan ikkunan yläaidassa olevaa puvun kuvaa, joka avaa WiFi-asetusikkunan (kuva 11).

Painamalla "Apply new settings"-painiketta avautuu näkymä, jossa WiFi-yhteyden asetukset annetaan. Sekä Rokoko Studiota pyörittävä tietokone, että puku tulee yhdistää samaan langattomaan verkkoon.



Kuva 11. WiFi-asetukset

Kun puku on yhdistetty, pitäisi sen ilmaantua projektinäkömään (kuva 12). Pukuun tulee vielä yhdistää luotu näyttelijä painamalla "Add objects"-painiketta, valitsemalla haluttu näyttelijäprofiili ja vetämällä listassa oleva puku näyttelijän päälle. Tämän jälkeen ikkunan oikeaan laitaan pitäisi ilmestyä reaaliaikainen näkymä puvun sensorien tilasta ja näkymässä olevan hahmo alkaa seuraamaan käyttäjän liikettä. (Kuva 12.)



Kuva 12. Rokoko Studio, projektinäkömön elementtien selityksiä

Ennen liikkeenkaappausta puku täytyy kalibroida. Kalibrointi käynnistetään yläpalkin keskimmäisten kuvakkeiden vasemmanpuoleisesta painikkeesta. Kalibroinnin aikana käyttäjää ohjeistetaan seisomaan suorassa, kädet sivuilla ja katse eteenpäin. Kalibroinnin jälkeen hahmon tulisi seurata käyttäjän liikkeitä hyvinkin tarkasti.

Eräs suurimmista sensorivirheitä aiheuttavista tavallisista ongelmista on ympäristössä olevat metallikappaleet ja sähkölaitteet, jotka aiheuttavat häiriötä 3DoF-magnetometrisensoreille. Liikkeenkaappaus suositellaankin suoritettavaksi tilassa, jossa häiriön lähteitä on mahdollisimman vähän eivätkä ne sijaitse käyttäjän välittömässä läheisyydessä. (Stentoumis 2022.)

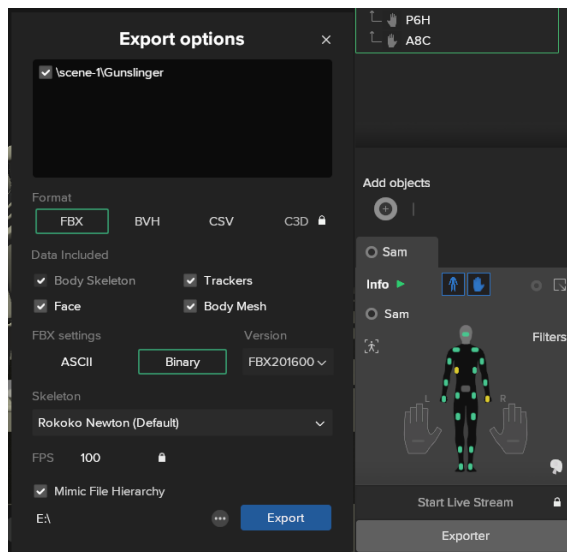
Tämä valitettavasti tarkoittaa sitä, että suurin osa vahvistetuista betonirakennuksista ei sovellu liikkeenkaappauksen tiloiksi. Varsinkin lattiassa kulkevat metallirakenteet aiheuttavat jalkojen sensoreihin häiriötä. Kuvassa 12 näkyy, miten voimakkaasti vahvistetun betonirakennuksen aiheuttama häiriö vaikuttaa puvun sensoreihin.

Liikkeenkaappaus aloitetaan painamalla aikajanan kontrolleista keskimmäistä painiketta. Liikkeenkaappaus lopetetaan samasta painikkeesta. Kaappauksen

jälkeen aikajanaa voidaan selata eteen- ja taaksepäin. Kaapattua liikettä voidaan myös muokata erilaisten suodattimien avulla, jotka siistivät pahimpia virheitä. (Kuva 12.) Laadukkaan liikedatan tuottaminen kuitenkin vaatii oman jälkituotantovaiheensa, jossa liikettä siistitään manuaalisesti siihen tarkoitettulla ohjelmistolla.

#### 4.4 Kaapatun liikkeen vienti 3D-malliksi Unitylle

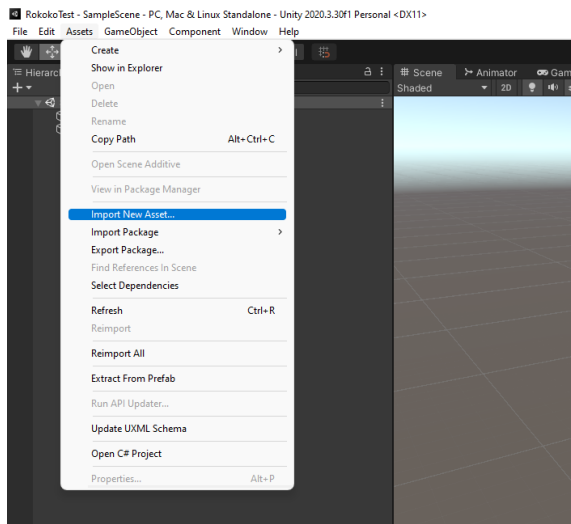
Kun liike on kaapattu ja muokattu käyttöä varten sopivaksi, voidaan se viedä 3D-malliksi tietokoneelle, josta se voidaan ottaa käyttöön pelimoottorissa. Kuvassa 13 näkyvät oletusasetukset ovat sopivat silloin, kun liikedataa ei tarvitse käsitellä ulkoisella ohjelmalla. Animaatioprojektin suunnitteluvaiheessa ja tilanteissa, joissa liikkeen ei tarvitse olla todella hyvin viimeisteltyä, tällainen raakadata toimii hyvin.



Kuva 13. Rokoko mocap-hahmon vienti oletusasetuksilla

3D-malli animaatioineen viedään haluttuun paikkaan tietokoneella, josta se voidaan viedä sellaisenaan mille tahansa 3D-ohjelmalle tai pelimoottorille, joka tukee viennin yhteydessä valittua tiedostomuotoa.

Tiedoston tuonti Unityssa tapahtuu päävalikosta Assets-valinnan alta kohdasta "Import New Asset..." (kuva 14). Valinta avaa tiedostojenkatseluikkunan, jossa etsitään aiemmin viety FBX-malli.

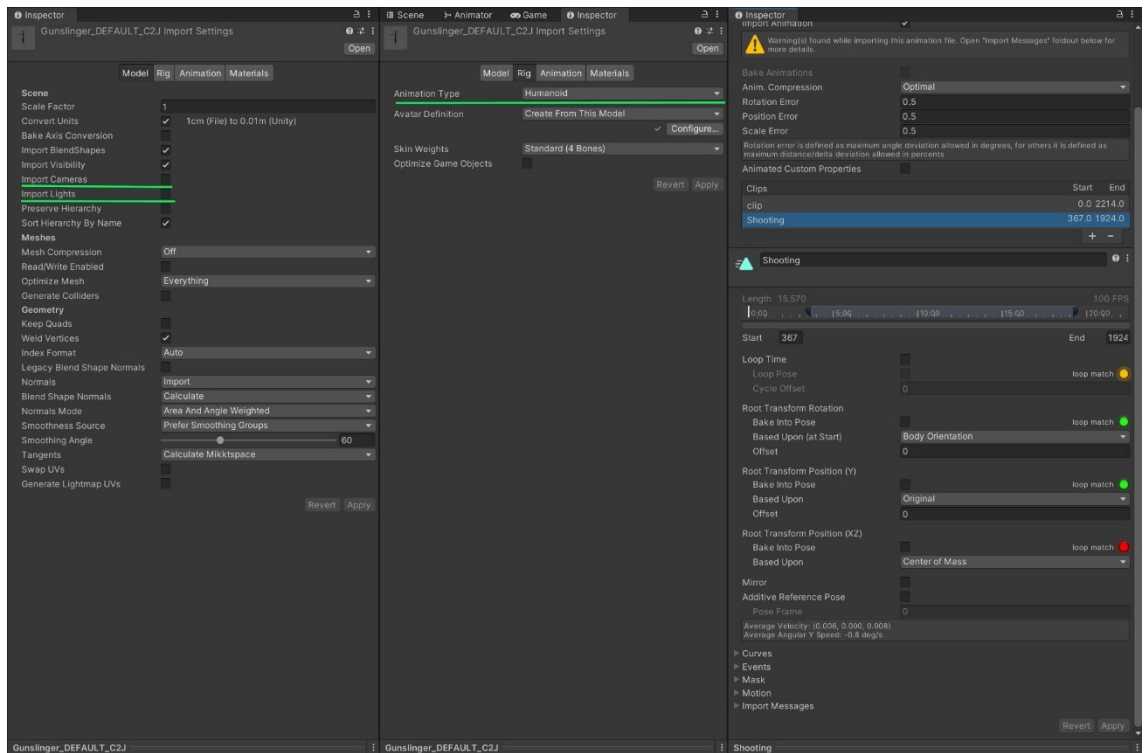


Kuva 14. Assettien tuominen Unityssa

Kun malli on tuotu Unityyn, sen tuontiasetuksia voidaan tarkastella Inspector-ikkunassa. Mallia tuotaessa on hyvä tarkastaa Model-välilehdeltä, että kameeroita tai valoja ei tuoda. Rig-välilehdeltä "Animation Type"-arvo tulee vaihtaa geneerisestä humanoidiksi. (Kuva 15.)

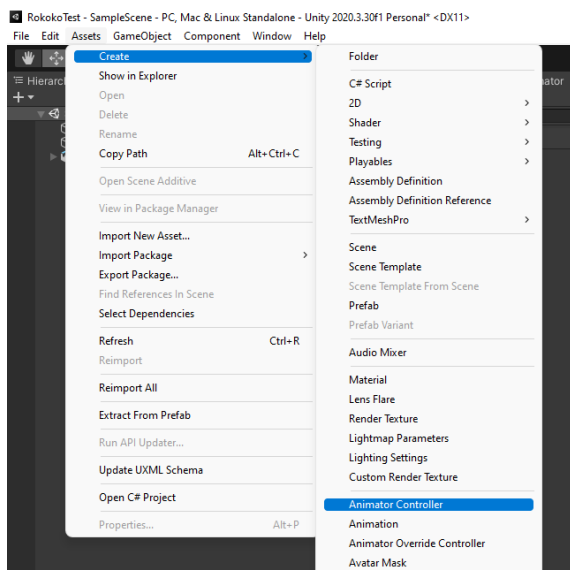
Hyvin usein liikettä kaapatessa aikajanalle tallentuu myös hetkiä nauhoituksesta, joita ei ole tarkoitus viedä animaatioiksi. Tällaisia ovat esimerkiksi epäonnistuneet otokset tai hetket, kun näyttelijä valmistautuu animaation näyttelymiseen ja hakee oikeaa asentoa. Valmiit animaatiot voidaan leikata Rokoko Studiolla tai vastaavalla ohjelmalla. Myös Unityssa animoidun hahmon tuontiasetuksissa on mahdollista leikata aikajanasta lyhyempiä pätkiä omiksi animaatioleikkeikseen.

Animation-välilehdellä (kuva 15) listassa "Clips" on luotu uusi animaatio nimellä Shooting. Animaatioleikkeitä luodaan painamalla listan oikeassa alakulmassa olevaa +-merkkiä, jolloin koko aikajana kopioidaan leikkausta varten omaksi leikkeekseen. Tämän jälkeen listan alla näkyvästä aikajanasta voidaan valita haluttu kohta siirtämällä korostetun valinnan päissä olevia merkkejä tai kirjoittamalla kohtiin "Start" ja "End" haluttujen ruutujen arvot.



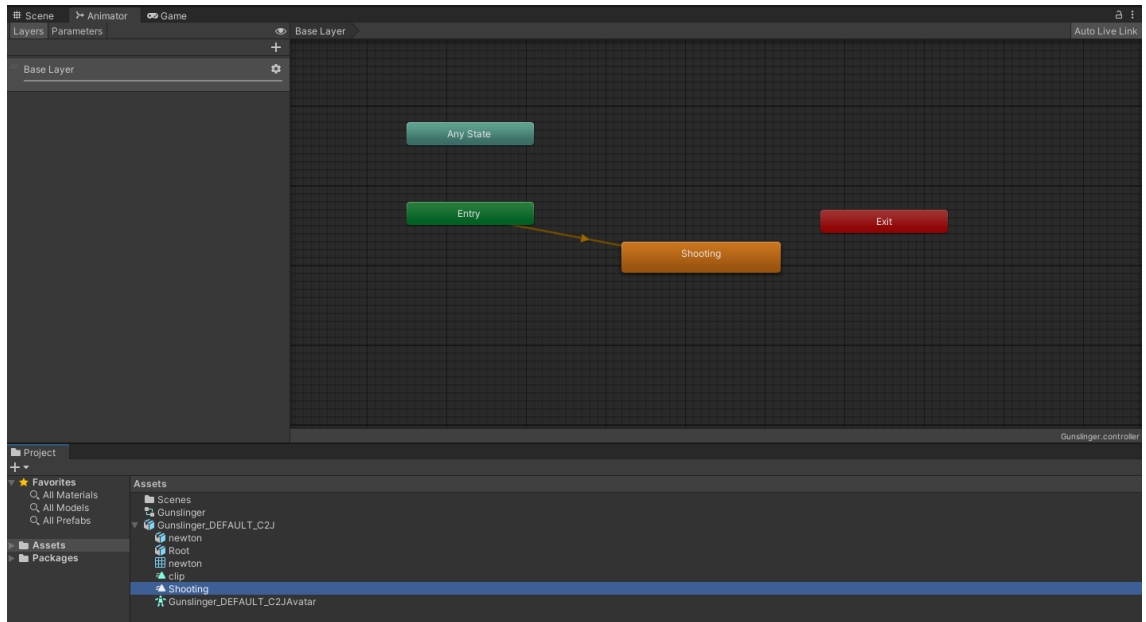
Kuva 15. Suositellut asetukset tuodulle animoitavalle pelihahmolle

Lopuksi tuotuun peliobjektiin tehdyt muutokset tulee tallentaa Inspector-ikkunan alareunan "Apply"-painikkeella. Tämä vaikuttaa myös jo Sceneen lisättyihin instansseihin peliobjektista, joten jos jotain tarvitsee muokata jälkikäteen, ei peliobjektia tarvitse tuoda sceneen uudestaan. Viimeistään tässä vaiheessa tuodaan nyt muokattu pelihahmo skeneen vetämällä se Hierarchy-ikkunan listaan. Pelihahmolta puuttuu vielä Animator Controller -komponentti, joka voidaan luoda Asset-valikon alta (kuva 16).



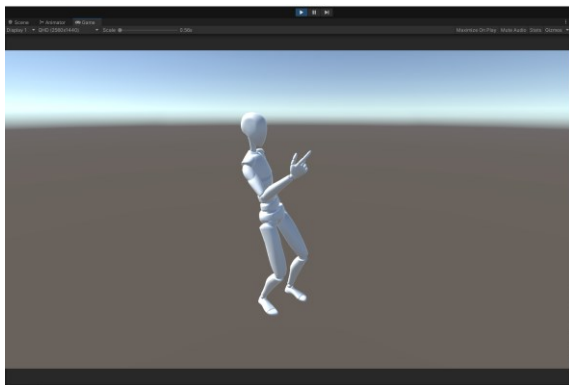
Kuva 16. Animator Controllerin lisääminen

Aluksi Animator Controller on tyhjä, mutta animaatioita voidaan vetää vapaasti Project-ikkunasta. Tuomamme hahmon animaatiot löytyvät avaamalla listauksessa hahmon alla olevat objektit. Animaatioiden kuvake on kolmio. Oranssi nuoli Animation Controllerissa tarkoittaa sitä, että kyseinen animaatio on hahmon oletusanimaatio, kun peli käynnistyy. (Kuva 17.)



Kuva 17. Animator Controller

Nyt animaation pitäisi pyöriä automaattisesti ainakin kerran, kun sovellus käynnistetään editorin Play-tilassa (kuva 18).



Kuva 18. Animaatio toimii Play-tilassa

Rokoko Studion avulla voidaan helposti ja nopeasti tuottaa käyttövalmiita animaatioita Unity-pelimootorille käytettäväksi. Kaikkien liikkeiden tallennus kannattaa suorittaa Rokoko Studiossa yhdelle aikajanelle, josta erilliset leikkeet leikataan Unitylla. Vaikka Rokoko Studiolla kaapatun liikkeen tarkoitus ei ole

olla loppukäyttöön tarkoitettu viimeinen versio vaan enemmänkin suunnittelu- ja prototyypivaihetta helpottava ja nopeuttava työkalu, sen avulla voidaan kuitenkin kaapata hyvinkin laadukasta liikettä.

## **5 YHDISTETYN TODELLISUUDEN MUSEO-OPAS -ESIMERKKISOVELLUS**

Opinnäytetyön tutkimusongelmana on, miten toteutetaan Unitylla tehty yhdistetyn todellisuuden sovellus. Sovelluksen kehittämisessä hyödynnettiin Oppiva rakentaminen- ja Xamk Game Studios -hankkeissa tehtyjä selvityksiä MR-ominaisuuksista ja liikkeenkaappauksesta Rokoko Smartsuit Pro II -liikkeenkaappauspuvulla. Sovellusta ei kehitetty hankkeissa yhteistyössä olevien yritysten käyttöön tai käytettäväksi sellaisenaan. Tavoitteena oli havainnollistaa ja tutkia esimerkin avulla HoloLens 2:lle olemassa olevia MR-ominaisuuksia ja käyttömahdollisuuksia.

Tutkimuksen tuloksena syntyneessä yhdistetyn todellisuuden sovelluksessa kolmiulotteinen ihmishahmo toimii lyhyen virtuaalisen museonäyttelyn oppaana käyttäjälle. Oppaalle ladattiin valmiita animaatioita Adoben Mixamo-palvelusta ja osa animaatioista tuotettiin Rokoko Smartsuit Pro II:lla. Oppaan lisäksi sovelluksessa toteutettiin toiminto virtuaalisen ympäristön asettelulle ja lukitsemiselle oikean maailman päälle käyttäen ASA:n ja WLT:n ominaisuuksia.

### **5.1 Sovelluksen suunnittelu ja toteutus**

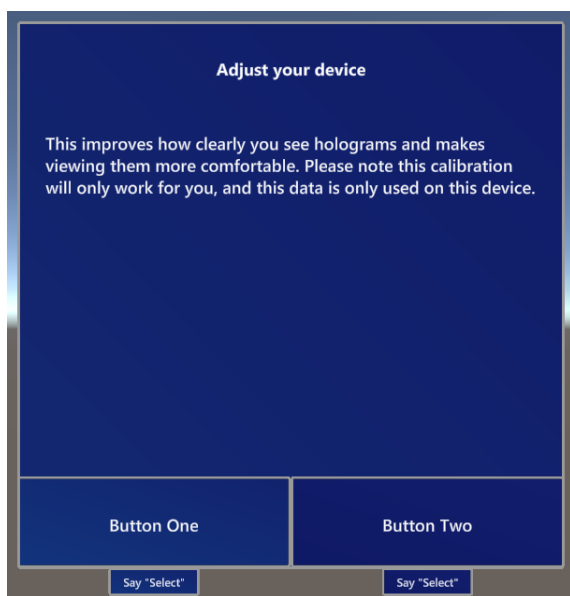
Sovelluksen idea muuttui kehityksen aikana. Suunnitelmia muutti erilaisten rajoitteiden lisäksi testaustilanteissa syntyneet havainnot. Alkuperäisenä ajatuksena oli toteuttaa koulutussovellus, jossa virtuaalinen kouluttajahahmo opettaisi käyttäjälle esimerkiksi teollisen laitteen käyttöä. Sovelluksessa koulutusilanne olisi jaettu muutamaan työvaiheeseen, joiden välillä käyttäjä olisi voinut siirtyä vapaasti. Työvaiheissa kouluttajahahmo tekisi suorituksen ensin itse, minkä jälkeen olisi käyttäjän vuoro toteuttaa sama suoritus.

Sovelluksen idea vaihtui kuitenkin lopulta eräänlaisen museo-oppaan toteutukseksi. Tässä sovelluksessa opashahmo esittelisi käyttäjälle virtuaalisia

näyttelyesineitä ja kertoisi tietoja niistä. Käyttäjä itse hallitsisi esittelykerroksen kulkua ja järjestystä, jossa kohteita esiteltäisiin.

### 5.1.1 Ohjauspaneeli ja näyttelykohteen peliobjekti

Sovelluksen ensimmäisenä toiminnallisuutena tehtiin tekstiä sisältävä dialogikomponentti, jonka avulla käyttäjä voisi edetä vaiheiden välillä ja saada tietoa niistä (kuva 19). Dialogiin lisättiin myös ominaisuus kiinnittyä automaattisesti haluttuun sijaintiin liittyen jonkin vaiheen toteutukseen. Kiinnittyminen toteutettiin hyödyntäen solver-ominaisuuden follow-komponenttia. Solver on MRTK:n mukana tuleva peliobjektien automaattiseen sijainnin laskemiseen käytettävä komponenttien joukko. Solver-komponentit laskevat peliobjektille sijainnin suhteessa toiseen annettuun peliobjektiin erilaisten parametrien avulla.



Kuva 19. MRTK:n Dialog-komponentti

Alkuperäisenä ajatuksena dialogin käytössä oli simuloida työkoneen tai teollisen laitteen käyttökoulutusta, jossa käyttäjän pitäisi suorittaa työvaiheita useassa paikassa koneessa. Dialogin kiinnittyminen viitattavaan koneen osaan neuvoisi käyttäjää siirtymään oikeaan paikkaan ja teksti neuvoisi käyttäjälle, kuinka toimia. Tätä pohjaa suunniteltiin laajennettavaksi kuvien, välivaiheiden ja virtuaalisen opashahmon avulla.

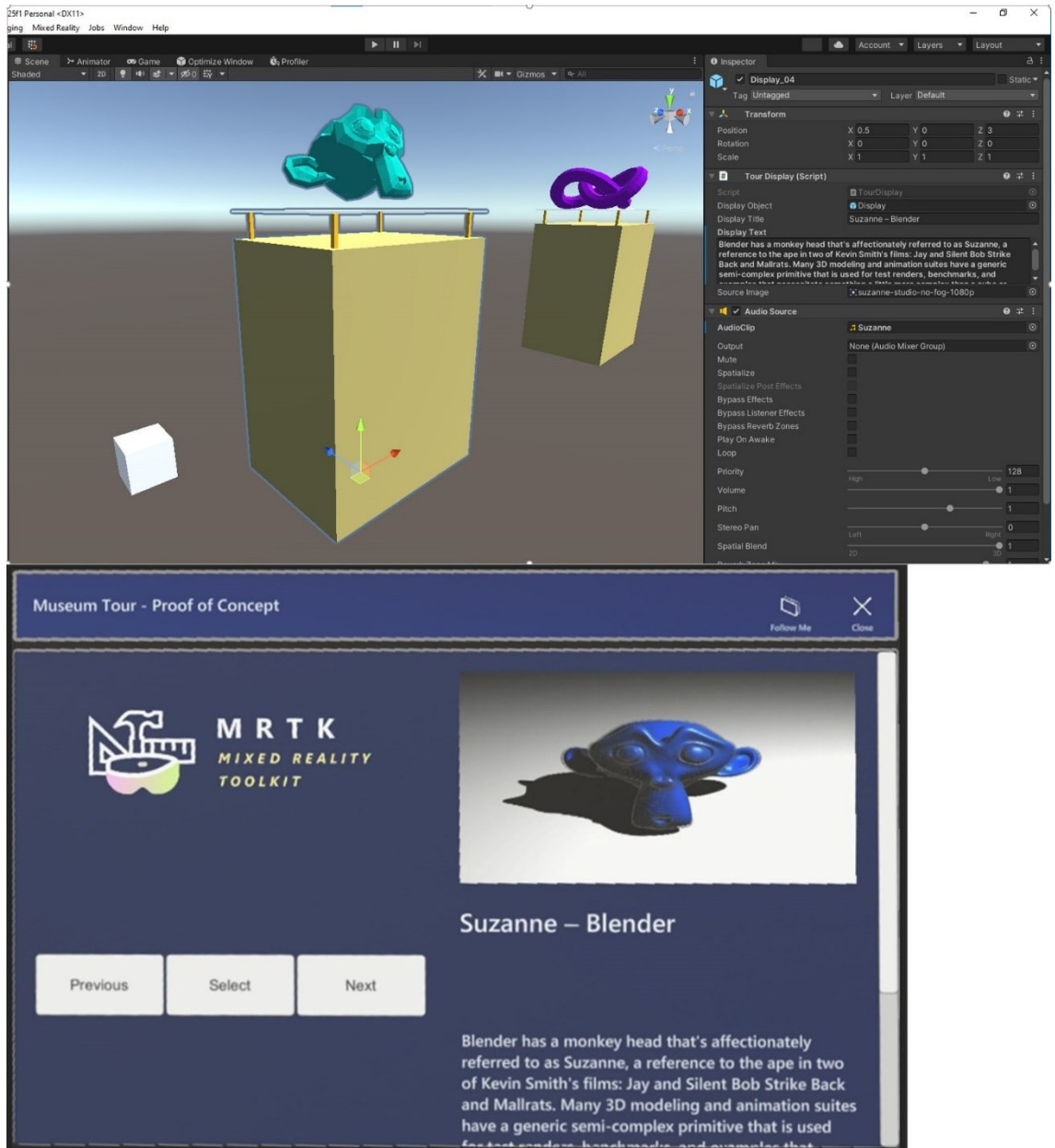


Kun sovelluksen idea vaihtui myöhemmässä vaiheessa koulutussovelluksesta näyttelysovellukseksi, vaihdettiin dialogi käytännön syistä MRTK:n slate -ikkunakomponenttiin, joka muistuttaa toiminnallisuuksiltaan Windows-käyttöjärjestelmän sovellusikkunaa (kuva 20). Ikkunan tarkoituksena on toimia käyttäjälle ohjauspaneelina esittelykierroksen hallinnalle ja näyttelyesineisiin liittyvän tiedon näyttämiseksi. Ikkunassa voidaan käyttää tekstiä, kuvia, painikkeita, syötökenttiä ja muita käyttöliittymälle tyypillisiä komponentteja. Tämän lisäksi ikkunassa on valmis toiminnallisuus, jolla se voidaan halutessa asettaa seuraamaan käyttäjää tai pysymään paikallaan.



Kuva 20. MRTK:n Slate-komponentti

Näyttelyesineen peliobjektin suunnittelussa ajatuksena oli luoda muokattava pohja prefab-objektille. Prefab on Unityssa eräänlainen itse rakennettu peliobjektin prototyyppi, joka sisältäisi oletuksena kaikki tarvittavat komponentit valmiin näyttelyesineen toteutukseen. Näin uusia näyttelyesineitä voisi luoda helposti vetämällä prefab-objekti Unityn näkymään ja antamalla tarvittavat sisällöt peliobjektin Tour Display -komponentille. Kyseinen komponentti sisältää slate-ikkunaan tulevat tiedot näyttelyesineestä ja sen lisäksi peliobjektiin tulee liittää ääniraita oppaan puheelle. (Kuva 21.)



Kuva 21. Tour Display-objektin tiedot editorissa ja sovelluksen Slate-ikkunassa

Slate sisältää oletuksena paremmat sisällönhallintamahdollisuudet kuin dialogi, mutta se ei ole loppukäyttäjää ajatellen kovin siisti tai käytettävyyden kannalta hyvä ratkaisu. Esimerkiksi näyttelykierroksen etenemisen hallintaan tarkoitusta varten räätälöidyn dialogin kaltainen, muutaman toiminnon sisältävä ohjauspaneeli olisi käyttäjälle parempi ratkaisu. Dialogin kaltaisessa ohjauspaneelissa voisi esimerkiksi olla painikkeet järjestyksessä eteen- ja taaksepäin siirtymiselle, sekä laajenevan valikon avaava painike, josta halutun esittelykohteen voi vielä valita erikseen.

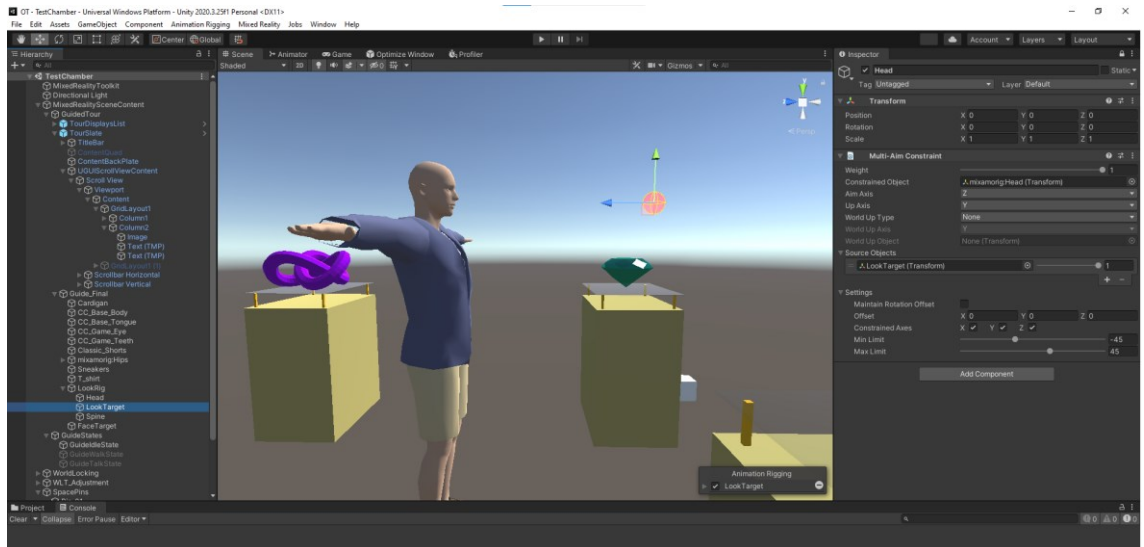
### 5.1.2 Oppaan animointi hyödyntäen Animator Controller- ja inverse kinematic -ominaisuuksia

Oppaan käyttäytymistä ja animointia suunnitellessa eräs kysymyksistä oli, miten opas tulisi toteuttaa yhdistetyn todellisuuden sovellukseen. Yhdistetyn todellisuuden eräs määritelmä on se, että virtuaalista sisältöä voidaan manipuloida ja se reagoi ympäristöönsä. Tästä syntyi ajatus, että oppaan pitäisi tuntua siltä, että se reagoi käyttäjän läsnäoloon. Koska käyttäjä voi liikkua oppaan ympärillä, niin vaikka oppaan animoisi ja se käyttäytyisi asianmukaisesti, se ei tuntuisi luonnolliselta osalta käyttäjän ympäristöä tuijottaessaan johonkin kaukaisuuteen.

Tämä johti tarpeeseen saada opas reagoimaan käyttäjään. Suunnitelmana oli, että seisoessaan paikallaan tai kertoessaan näyttelyesineestä oppaan katse olisi käyttäjässä, koska niin oikea opaskin toimisi. Kävellessään kohti valittua esittelykohdetta oppaan taas olisi luontevaa katsoa lähestyttävää objektia. Oppaan pään liikkumista tulisi siis pystyä hallitsemaan irrallisena osana muusta animaatiosta.

Ongelmaa selvittäessä eräs vastaan tullut ratkaisu oli käyttää Unityn omaa animointiin tarkoitettua Animation Rigging -työkalua ja hyödyntää siitä löytyvää inverse kinematics -prosessia, josta käytetään tavallisemmin termiä IK. Siinä hahmon luurangon asentoa lasketaan suhteessa johonkin toiseen objektiin (Inverse Kinematics 2022). Oppaan tapauksessa pään asentoa halutaan laskea suhteessa käyttäjän sijaintiin. Oppaan pään liikkuminen tehtiin Animation Rigging -työkalun Multi-Aim Constraint -komponentilla, joka laskee pään asennon jonkin toisen parametrina annetun peliobjektin suuntaan (Multi-Aim Constraint 2022).

Kuvassa 22 aktiivisena valintana oleva punainen pallo on kohteeksi valittu objekti, joka on asetettu inspector -ikkunassa näkyvän hahmon päätä vastaavan peliobjektin, Multi-Aim Constraint -komponentin lähteeksi. Muuttamalla peliobjektin sijaintia ohjelman ajon aikana koodin avulla, oppaan katse seuraa sen sijaintia. Pitämällä pallon sijainti samana, kuin pelin kameran sijainti, saadaan opas katsomaan kohti käyttäjää.



Kuva 22. Animation Rigging ja IK, pään kohde

Oppaan muut animaatiot ovat toteutettu Animator Controller -tilakoneella, joka on Unityssa oleva työkalu hahmon animaatioiden tilojen hallinnalle. Kävelyn animaatio on otettu Mixamosta, koska laadukkaan kävelyanimaation tuottaminen itse vaatii enemmän työtä, mitä opinnäytetyön näkökulmasta on tarpeellista tehdä. Hahmon paikallaan seisomisen ja käyttäjälle puhumisen animaatiot ovat leikattu Rokoko Smartsuit Pro II:lla kaapatusta aikajanasta.

### 5.1.3 Oppaan käyttäytymisen hallinta tilakoneella käyttäen Surge-työkalua

Oppaan varsinainen looginen käyttäytyminen toteutettiin tilakoneella. Tilakoneella tarkoitetaan järjestelmää, jossa eri tilojen välillä voidaan siirtyä ja siirtymien toteutumiselle voidaan asettaa ehtoja. Pelimoottorissa tilakonetta voidaan käyttää ajamaan koodia ja suorittamaan toimenpiteitä eri tiloissa, kun jokin arvo tai ehto on saavutettu.

Tilakoneen voi ohjelmoida halutessaan itse. Johtuen kuitenkin tutkimusongelman laajuudesta ja siitä, että pelilliset ominaisuudet eivät olleet tutkimuksen keskiössä, päädyttiin sovelluksessa käyttämään Unityn Asset Store -kaupasta ilmaiseksi ladattavaa Surge-nimistä työkalua. Se sisältää monia animaation ja peliobjektien käyttäytymiseen liittyviä ominaisuuksia, mutta opinnäytetyössä sitä käytettiin vain tilakoneen takia.

Surgen tilakone sisältää State Machine-komponentin, joka hallitsee tilojen välillä siirtymistä. Erilaiset hallittavat tilat ovat State Machine -komponentin sisältävän peliobjektin lapsiobjekteja, joille lisätään itse ohjelmoidut, State-luokan perivät komponentit. Jokainen tilakoneen tila siis suunnitellaan ja toteutetaan itse, mutta tilojen välillä siirtymiseen tarvittava toiminnallisuus saadaan hyödynnettyä Surgen tilakoneesta periyttämällä. (State Machine s.a.)

#### **5.1.4 Virtuaalisen ympäristön asettelu ja lukitseminen oikeaan maailmaan Azure Spatial Anchors- ja World Locking Tools -ominaisuuksien avulla**

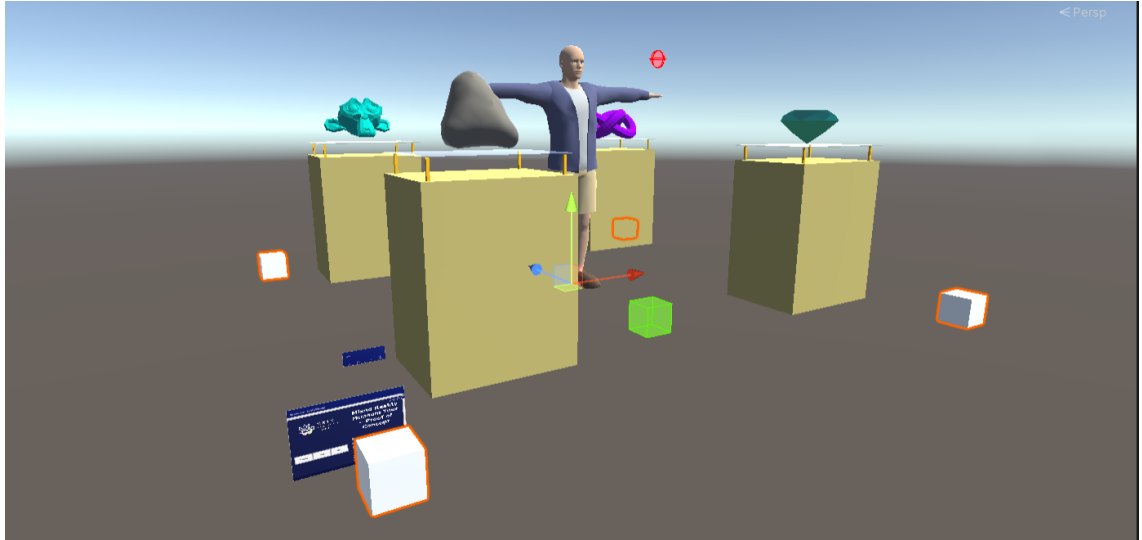
Sovelluksessa haluttiin havainnollistaa MR-kokemuksen asettamista osaksi ympäröivää fyysistä maailmaa. ASA:n ankkureilla virtuaalinen sisältö voidaan sijoittaa ja lukita ympäristöön pistepilven avulla. WLT:n ja Space Pin -rajapinnan avulla hologrammien tarkkuutta saadaan parannettua ja mahdollistetaan tarvittaessa fysiikka laskennat ja simulaatiot.

Ominaisuuksien lisääminen projektiin on helppo MRFT:n avulla, mutta niiden käyttöönotto vaatii vaihtelevaa osaamista. WLT on tarkoitettu käyttökelpoiseksi yksinkertaisimmissa tilanteissa sellaisenaan, kun virtuaalinen avaruus halutaan lukita ympäristöön siinä asennossa, kun se on sovellusta käynnistettäessä. Räätelöityjen ratkaisujen kehittäminen vaatii kuitenkin syvempää osaamista WLT:n toiminnasta. ASA:n ottaminen käyttöön vaatii kaikissa tilanteissa jonkin verran omaa ohjelmointia, mutta tästä on olemassa kattavat dokumentaatiot Microsoftin sivuilla.

Koska opinnäytetyössä käyttötarkoitus oli yksinkertainen ja siihen tarvittavat komponentit löytyivät kummankin ominaisuuden esimerkksiovelluksista, päädyttiin opinnäytetyössä soveltamaan näitä. Esimerkkiovellukset sisälsivät erilaisten tilanteiden toimintaa varten kirjoitettuja skriptejä, joita ei ominaisuuksien ydinpaketeissa ole sellaisenaan. Jos toiminnallisuudet olisi halunnut tuottaa alusta asti itse, ne olisi pitänyt ohjelmoidakin itse.

Virtuaalinen ympäristö voidaan siirtää ja lukita haluttuun asentoon suhteessa oikeaan maailmaan. Tämä onnistuu käsillä liikuteltavien kiinnikkeiden avulla (kuva 23). Kiinnikkeet hyödyntävät WLT:n käyttämää Space Pin -rajapintaa.

Tavallisesti tässä käytettyjen kiinnikkeiden kaltainen toiminnallisuus pitäisi ohjelmoida itse, mutta nyt ne voitiin soveltaa sellaisenaan WLT:n Samples -projektista.



Kuva 23. Sovelluksen koko näkymä WLT:n Space Pin -kiinnikkeiden kanssa

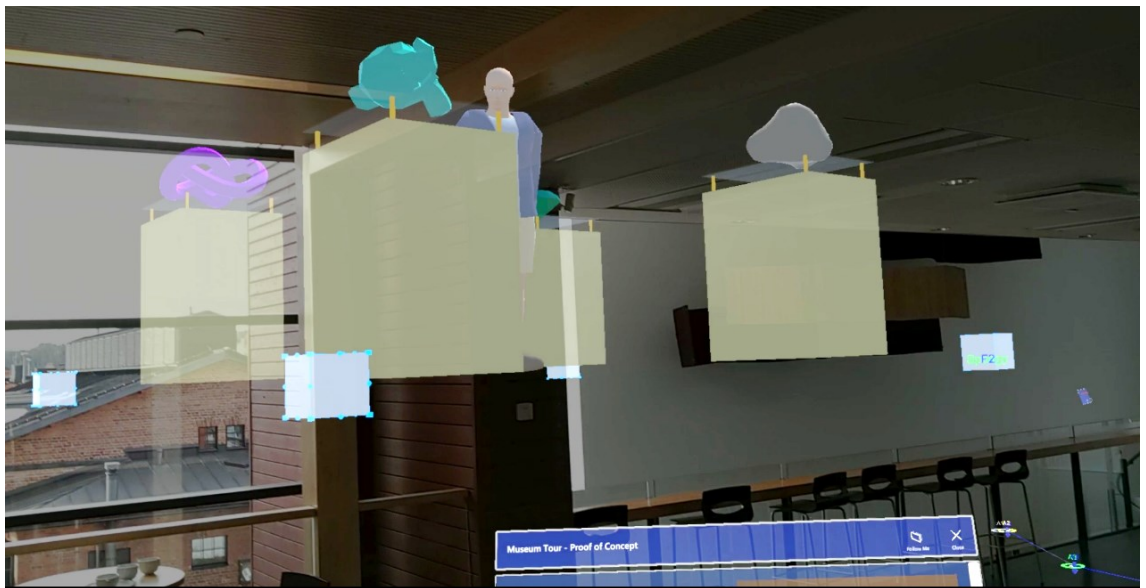
Kiinnikkeitä ei tavallisesti käytettäisi opinnäytetyössä esitellyllä tavalla virtuaalisen kokemuksen sijoittamisessa. WLT:n kehittäjä näyttää Space Pin -rajapintaa esittelevällä YouTube-videolla, kuinka ympäristöön sijoitettavilla QR-koodilla ja niihin yhdistetyillä virtuaalisilla kiinnikkeillä saadaan aikaan haluttu vaikutus. Hololens 2 skannaa ympäristön QR-koodit automaattisesti ja siirtää virtuaalisen näkymän oikeaan asentoon fyysisessä ympäristössä. (World Locking Tools 2021.)

Esimerkissä käytettyä tapaa voitaisiin hyödyntää erimerkiksi silloin, jos käytössä on erikseen virtuaalisten kokemusten tekijälle ja ylläpitäjälle rakennettu versio, jolla ympäristöjä voitaisiin tehdä suoraan oikean maailman päälle omassa sovelluksessaan. Kiinnikkeitä voisi luoda haluttuihin kohtiin ja antaa niille virtuaalisen avaruuden koordinaatit vastaamaan oikean maailman etäisyyksiä valitusta nollapisteestä. Kun näkymä tallennetaan palvelimelle, on kiinnikkeiden mukana tallentunut myös tieto ympäristön geometriasta. Näin sovelluksen näkymä latautuu ja asettuu käyttäjälle automaattisesti oikein, kun ankkureita haetaan seuraavalla sovelluksen käyttökerralla.

## 5.2 Sovelluksen toiminta käytännössä

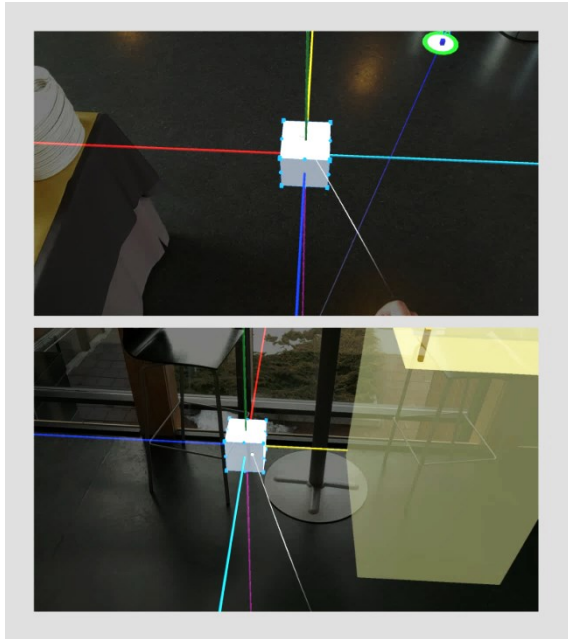
Käyttäjän pään, eli pelimoottorin kameran koordinaatit, ovat virtuaalisen avaruuden koordinaatiston origossa sovelluksen käynnistyessä. Edellisen sivun kuvassa 23 vasemmassa alakulmassa sijaitseva, kiinnikkeenä toimiva valkoinen kuutio sijaitsee myös origossa. Kaikkien peliobjektien etäisyydet on laskettu siitä.

Sovelluksen käynnistyessä näkymä ei asetu kovinkaan hyödyllisesti käyttäjää ympäröivään oikeaan maailmaan. Kuvassa 24 on paremmasta kuvakulmasta nähtävissä, miten sovelluksen origo on asettunut käyttäjän pään korkeudelle. Origo on kuvassa 24 oikealla oleva valkoinen kuutio, jonka kohdalla lukee myös teksti ”Spongy”. Tavallisesti asia korjattaisiin sillä, että näkymä sijoitettaisiin ympäristöön valmiiden ankkureiden avulla, jotka on luotu aiemmin.



Kuva 24. Sovelluksen näkymän sijainti käynnistyksen jälkeen ennen uudelleensijoittamista

Esimerkkisovelluksen tapauksessa objektien etäisyydet on haluttu laskea mahdollisimman yksinkertaisesti keskisuuren huoneen kokoiseen ympäristöön, jossa origo on jokin huoneen nurkista tai muu kiinteä kohde. Kiinnikkeiden avulla näkymän siirtäminen onnistuu vaivatta, vaikka sovelluksen alkuperäinen näkymä olisikin epäkäytännöllinen (kuva 25).



Kuva 25. Space Pin -kiinnikkeiden siirtäminen

Kun kiinnikkeet ovat sijoitettu haluttuihin kohtiin ympäristössä, asettuu näkömängin paljon järkevämmin. Näkömängin kulmissa olevat kiinnikkeet ovat asetettu noin 4 metrin välein toisistaan. WLT lisää ympäristöön myös käyttäjän liikkuessa omia kiinnikkeitään metrin välein, joiden avulla ympäristön geometriaa sidotaan paremmin sovelluksen virtuaaliseen koordinaatistoon. Tämä mahdollistaa pidemmilläkin etäisyyksillä tarkan hologrammien sijoittamisen. (Kuva 26.)



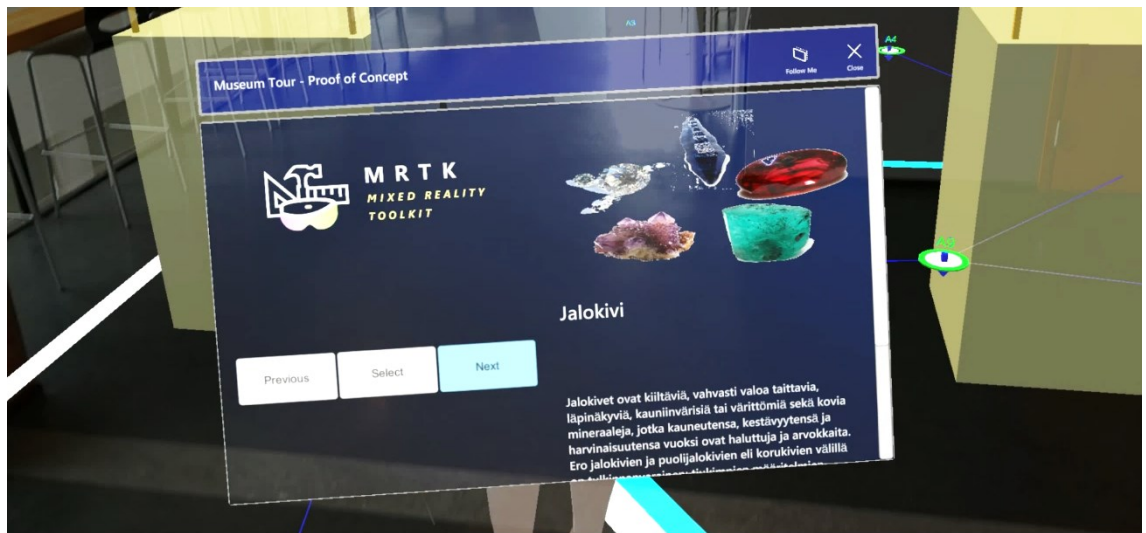
Kuva 26. Oikein aseteltu näkömängin

Oppaan tilakoneessa oletustilana on paikallaan seisoskelu, jossa opas seuraa käyttäjää katseellaan. IK-toiminnallisuus on määritetty niin, että oppaan katse



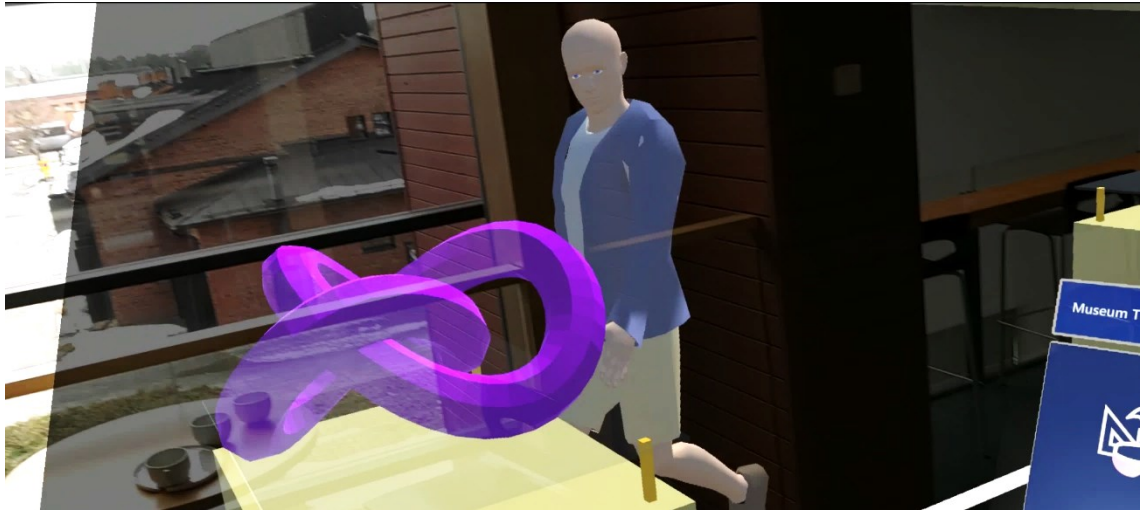
liikkuu käyttäjän mukaan. Tämä on nähtävissä kuvissa 24 ja 26, joissa opas sijainnistaan huolimatta katsoo käyttäjään. Jos käyttäjä liikkuu enemmän kuin 45 astetta sivuun oppaan rintamasuunnasta, opas kääntyy kokonaan käyttäjää kohti ja jatkaa seuraamista katseella. Tällä halutaan luoda todentuntuisempi kokemus siitä, että opas reagoi käyttäjän läsnäoloon.

Käyttäjän ohjauspaneelina toimiva slate-ikkuna seuraa käyttäjää ympäristössä, mutta sen voi myös lukita paikalleen. Ohjauspaneelin next- ja previous -painikkeilla käyttäjä voi selata esikatselussa olevia esittelykohteita. Vasta painamalla "Select"-painiketta, käyttäjä valitsee esiteltävän kohteen. (Kuva 27.)



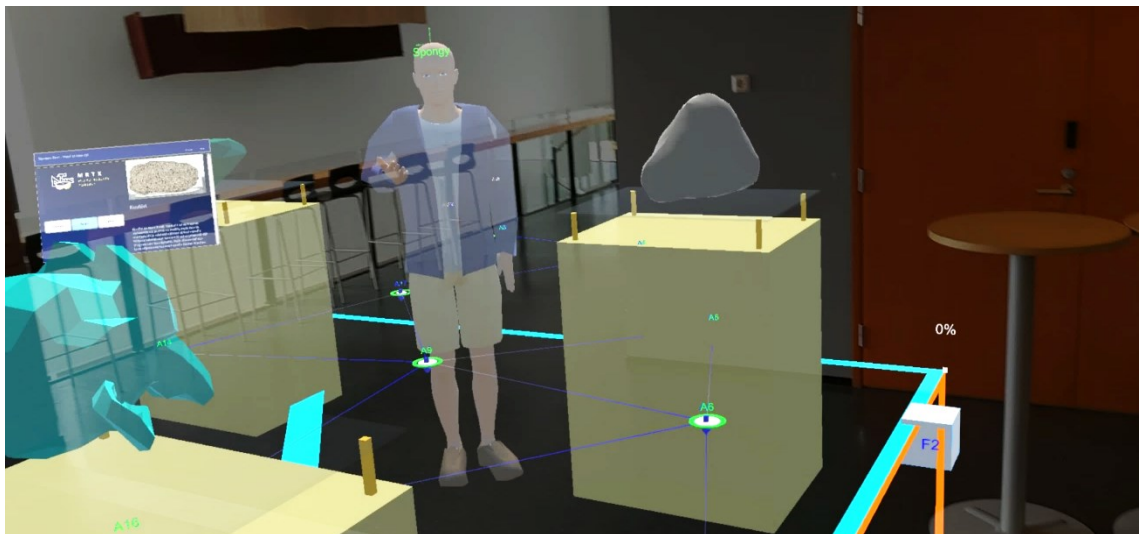
Kuva 27. Slate-ikkunan näkymä

Painikkeen painallukseen liitetty tapahtuma ilmoittaa oppaan tilakoneelle, että tämän on aika siirtyä kävelytilaan ja opas saa valitun kohteen tiedot. Kävelytilassa oppaan katsetta IK:n avulla ohjaava peliobjekti voidaan siirtää valitun esittelykohteen sijaintiin. Opas kävelee annetun kohteen viereen ja pitää katseen annetussa objektissa kävelyn ajan. (Kuva 28.)



Kuva 28. Opas kävelemässä seuraavalle kohteelle

Oppaan saavuttua kohteelle, tilakone vaihtaa oppaan tilan puhetilaan. Puhetilassa opas kääntyy taas kohti käyttäjää ja alkaa kertomaan tälle esineestä. (Kuva 29.)



Kuva 29. Opas esittelemässä näyttelyesineitä

Kun esittelyssä käytettävä äänitiedosto on toistettu loppuun, oppaan tilakone siirtyy takaisin paikallaan seisomisen tilaan. Tämä päättää sovelluksen logiikkaketjun ja käyttäjä voi taas valita uuden esittelykohteen. Sovellukseen ei toteutettu toiminnallisuutta lopetukselle, vaan sovellus suljetaan käytettävän laitteen omasta sovellustenhallinnasta.

### 5.3 Kohdatut haasteet ja ongelmat, sekä huomioita kehityskohteista

Eräs suurimmista esiintyneistä ongelmista on sovelluksen huono suoritusteho laseilla. HoloLens 2:lla ajettaessa sovelluksen ruudunpäivitys on 10–15 ruutua sekunnissa (fps). HoloLens 2:n suoritustehossa tulisi pyrkiä 60fps nopeuteen ja kolmioiden määrä näkymässä tulisi olla alle 10 000–100 000 kappaletta riippuen objektien määrästä. (Optimize your 3D models... 2022; Understanding performance... 2022).

Sovelluksessa 3D-mallien kolmioiden määrä on yhteensä noin 4300 kappaletta, joka on reilusti alle minkään ohjeistetun rajan. Myös 3D-malleissa käytetyt materiaalit ovat yksivärisiä, eikä niissä ole käytetty tekstuureita, joten huono suorituskkyky ei johdu oletettavasti grafiikoiden tasosta. Microsoftin sivuilla kerrotaan prosessorin laskentatehon suosituksista, että MR-sovelluksissa optimoinnin kohteena tulisi ensisijaisesti olla animaatiot, fysiikkalaskennat, muistinhallinta ja monimutkaiset algoritmit, joista mainitaan IK ja pathfinding. (Understanding performance 2022.)

Onkin hyvin todennäköistä, että sovelluksen opashahmossa käytetyt animaatiot ja IK vaikuttavat osaltaan suorituskkykyyn. Toisaalta monet MR-sovelluskehityksessä käytettävistä ominaisuuksista ja työkaluista ovat vieläkin varhaisessa kehitysvaiheessa ja jotkin näistä voivat olla raskaita käyttää sellaisenaan. Tämän lisäksi parempaan suorituskkyvyn optimointiin tarvitaan syvempää ymmärrystä MR-ominaisuuksien ohjelmoinnista, käytöstä ja Unity-pelimoottorista.

Opashahmon liikuttaminen esittelykohteiden luokse ja käyttäjän seuraaminen katseella toteutettiin osittain itse kirjoitetulla koodilla, jossa hyödynnettiin pelimoottorin ruudunpäivitysnopeudella toimivia komponentteja. Koska tällaista koodia ajetaan kymmeniä kertoja sekunnissa, voi sekin vaikuttaa suorituskkykyyn. Oppaan liikuttelun kohteiden luokse olisi voinut toteuttaa hyödyntämällä MRTK:n solveereita kuten alkuperäisessä dialogissa tehtiin, mikä voisi vaikuttaa myös parantavasti suorituskkykyyn.

Näkymän asettelu ympäristöön kiinnikkeiden avulla toimii hyvin, mutta on epäkäytännöllistä loppukäyttäjälle. Tämän takia QR-koodeihin tai pistepilveen perustuva virtuaalisen maailman asettelu on tarpeellinen ominaisuus. QR-koodien käyttö WLT:n kanssa kuitenkin vaatii enemmän työtä ja perehtymistä QR-koodien skannauksen toteutuksesta halutulle alustalle.

## 6 LOPUKSI

Esimerkkiä varten rakennettu sovellus havainnollistaa hyvin MR-sovelluskehityksen nykytilannetta ja sen vahvuuksia, mahdollisuuksia ja haasteita. Erilaisen työkalujen ja ominaisuuksien kehityksessä pyritään selkeästi luomaan tietynlaista standardia, jonka avulla tulevaisuudessa sovellusten kehittämistä helpotetaan ja koko prosessia nopeutetaan. Valmiiden, perustoimintoja tarjoavien komponenttien avulla monissa sovelluksissa samat toiminnot voidaan toteuttaa ilman tarvetta ohjelmoida ja suunnitella asioita uudelleen. Tämä on erityisen tärkeää laajennetun todellisuuden sovellusten kehityksessä, koska lopulta eri alustojen toiminta pohjautuu samanlaisiin ratkaisuihin ja tavat, joilla sovelluksia toteutetaan, ovat samat.

OpenXR:n kaltaiset monille alustoille sopivat avoimet rajapinnat myös viittaavat suuntaan, jossa sovellusten kehitystä halutaan yksinkertaistaa. Sen sijaan, että jokaiselle alustalle saman sovelluksen joutuu ohjelmoimaan hieman eri tavalla, voidaan sovelluksesta toteuttaa vain yksi versio, joka kääntyy OpenXR:n avulla kaikille ominaisuutta tukeville alustoille. Tässä kuitenkin ollaan vielä varhaisessa vaiheessa ja vain muutamien yritysten alustoja tuetaan tällä hetkellä.

Eräs suurimmista haasteista yhdistetyn todellisuuden sovelluksissa on mobiilien ja langattomien laitteiden suoritusnopeus. Oikean ja virtuaalisen maailman yhdistävät teknologiat vaativat alustakseen kevyen ja helposti liikuteltavan laitteen, joka luo selkeitä rajoja käytettävän teknologian suhteen. Suuremmat suoritusnopeudet vaativat enemmän virtaa, joka taas vaatii isompaa akkua, joten yritysten on tasapainoitettava laitteiden keveyden ja suoritusnopeuden välillä.

Tämän takia monet, hyvinkin tavalliset, virtuaalisen maailman toiminnot ovat edelleen hankala toteuttaa mobiililaitteilla. Animaatioiden toistaminen ja tilakoneet ovat prosessorille työläitä tehtäviä ja niiden käyttäminen sovelluksissa ei

ole vielä käytännöllistä, ainakaan helposti. Tämä asia todennäköisesti korjautuu ajan kanssa, kun laitteiden tehot kasvavat ja uusia sovelluspohjaisia ratkaisuja kehitetään.

ASA ja WLT ovat ratkaisseet erään todella suuren ongelman virtuaalisen maailman ja fyysisen maailman yhdistämisessä, mutta nekään eivät ratkaise kaikkia ongelmia. On esimerkiksi selvää, että fyysisesti suurikokoisia hologrammeja ei voida asetella tarkasti oikeaan maailmaan. Sensorien virheen tuomasta "vipuvarsiefektistä" johtuen, vaikka hologrammit lähellä käyttäjää olisivat millimetrien tarkkuudella oikeissa kohdissa, kertyy kauempana oleviin hologrammeihin ja niiden osiin enemmän virhettä.

Oppiva rakentaminen -hankkeenkin aikana esillä ollut kysymys rakennuksen digitaalisen kaksosen pystyttämistä fyysiselle tontille ei vielä ole saanut lopullista vastausta. Kun mietitään esimerkiksi digitaalisen kaksosen hyödyntämistä keskeneräisen rakennuksen tarkastuksessa, ei ole varmaa, päästäänkö nykyisellä teknologialla tarpeeksi hyvään tarkkuuteen hologrammien sijoittamisessa. Tämän mahdollistavat teknologiat ovat olemassa ja jo nyt käytettävissä, mutta ne ovat vielä niin aikaisessa kehitysvaiheessa, että niiden käyttöönoton kannattavuus on kyseenalaista. Ongelmia toki voi yrittää ratkaista itse, mutta myös ominaisuuksien kehittäjät voivat kehittää parempia ratkaisuja ajan myötä.

Rokoko Smartsuit Pro II ja liikkeenkaappaus olivat onnistuneita kokeiluja ja palvelevat myös Xamk Game Studios -hanketta. Puvun käyttöönotto ja liikkeenkaappaus on helppoa, mutta vaatii hyvin kliiniset olosuhteet magneettisen häiriön osalta. Myös monet kehittyneemmistä ja tilanteesta riippuen hyvin tärkeistäkin ominaisuuksista vaativat maksullisia lisäominaisuuksia ja lisenssejä. Kasvojen liikkeenkaappaus vaatii toimiakseen tarpeeksi uuden iPhone:n ja animaatioiden editointi ja liikkeen kaappaus liveinä muille sovelluksille vaatii maksullisen Studion lisenssin.

Esimerkkisovellus havainnollistaa hyvin sitä, millaisissa prosesseissa HoloLens 2:n teho ei vielä riitä. Museo-oppaan kontekstissa käyttäjän läsnäoloon reagoiva hahmo lisää kokemuksen aitoutta, mutta tavat, joilla tämän kaltaista realistisuutta sovelluksiin saadaan, ovat erittäin raskaita toteuttaa. Varsinkin

hahmon animointi ja IK vaikuttavat olevan prosessorilla raskaita töitä ja niiden käyttömahdollisuuksia ja optimointia tulisi selvittää lisää.

Yhdistetty todellisuus ja virtuaalisen sisällön sitominen fyysiseen maailmaan tulee tarjoamaan lukemattomia määriä erilaisia tapoja hyödyntää olemassa olevaa ympäristöä täysin uudella tavalla. Kodin geometriasta ja irtaimistosta muodostuu pelimaailman rajat ja peliobjektit. Virtuaaliset, käyttäjää seuraavat ikkunat mahdollistavat vaikka kodin remontoinnissa ohjeiden näyttämisen samalla, kun kädet ovat vapaat työskentelemään. Rakennusten seiniä ja kivijalkakauppojen näyteikkunoita voidaan hyödyntää mainonnassa ja palvelujen viestinnässä.

Haasteista huolimatta yhdistettyyn todellisuuteen liittyy paljon potentiaalia ja jona nyt voidaan visioida villejäkin käyttötarkoituksia MR-teknologialle. MR tuo uuden ulottuvuuden opetus- ja viihdepalveluihin, sekä tekee käyttäjästä aktiivisen osallistujan monissa perinteisesti passiivisissa kokemuksissa. Myös yhteisölliset kokemukset ja raskaampien prosessien suoritus etänä palvelimilla tulevat olemaan iso osa yhdistettyä todellisuutta ja tämän takia muut teknologiat, kuten 5G ja palvelut, kuten Metaverse tulevat varmasti olemaan vielä merkittävä osa ihmisten elämää.

## LÄHTEET

About Azure Remote Rendering. 2021. Microsoft. WWW-dokumentti. Päivitetty 2.3.2021. Saatavissa: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/remote-rendering/overview/about> [viitattu 7.4.2022].

About HoloLens 2. 2021. Microsoft. WWW-dokumentti. Päivitetty 2.11.2021. Saatavissa: <https://docs.microsoft.com/en-us/hololens/hololens2-hardware> [viitattu 11.3.2022].

Azure mixed reality s.a. Microsoft. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://azure.microsoft.com/en-us/topic/mixed-reality/#demystifying> [viitattu 25.3.2022].

Azure Object Anchors is now in public preview. 2021. Microsoft. WWW-dokumentti. Päivitetty 2.3.2021. Saatavissa: <https://azure.microsoft.com/en-gb/updates/azureobjectanchorspreview/> [viitattu 25.3.2022].

Azure Spatial Anchors overview. 2022. Microsoft. WWW-dokumentti. Päivitetty 21.2.2022. Saatavissa: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/spatial-anchors/overview> [viitattu 19.3.2022].

Coarse relocation. 2022. Microsoft. WWW-dokumentti. Päivitetty 21.2.2022. Saatavissa: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/spatial-anchors/concepts/coarse-reloc> [viitattu 19.3.2022].

Cooper, J. 2019. Game Anim: Video Game Animation Explained. A K Peters/CRC Press. E-kirja. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [viitattu 9.4.2022].

Create an effective anchor experience by using Azure Spatial Anchors. 2022. Microsoft. WWW-dokumentti. Päivitetty 21.2.2022. Saatavissa: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/spatial-anchors/concepts/guidelines-effective-anchor-experiences> [viitattu 22.3.2022].

Donally, J. 2018. Learning Transported. International Society for Technology in Education. E-kirja. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [viitattu 6.3.2022].

Face Capture s.a. Rokoko Electronics. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.rokoko.com/products/face-capture> [viitattu 18.3.2022].

Frequently asked questions about Azure Spatial Anchors s.a. Microsoft. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/spatial-anchors/spatial-anchor-faq> [viitattu 19.3.2022].

Frequently asked questions. 2022. Microsoft. WWW-dokumentti. Päivitetty 31.1.2022. Saatavissa: <https://docs.microsoft.com/fi-fi/mixed-reality/world-locking-tools/documentation/introfaq> [viitattu 21.3.2022].

Glover, J. & Linowes, J. 2019. Complete virtual reality and augmented reality development with Unity: Leverage the power of Unity and become a pro at creating mixed reality applications. Packt Publishing. E-kirja. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [viitattu 12.3.2022].

Hand interaction examples. 2021. Microsoft. WWW-dokumentti. Päivitetty 1.7.2021. Saatavissa: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/mrkt-unity/features/example-scenes/hand-interaction-examples?view=mrktunity-2021-05> [viitattu 11.4.2022].

Inertial Measurement Unit s.a. Xsens. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.xsens.com/imu> [viitattu 12.3.2022].

Inverse Kinematics. 2022. Unity Technologies. WWW-dokumentti. Päivitetty 4.4.2022. Saatavissa: <https://docs.unity3d.com/Manual/InverseKinematics.html> [viitattu 8.4.2022].

Kitagawa, M. & Windsor, B. 2008. MoCap for artists: Workflow and techniques for motion capture. Oxford: Routledge. E-kirja. Saatavissa: <https://kaakuri.finna.fi/> [viitattu 12.3.2022].

Linowes, J. & Babilinski, K. 2017. Augmented reality for developers: Build practical augmented reality applications with Unity, ARCore, ARKit, and Vuforia. Birmingham: Packt Publishing. E-kirja. Saatavissa: <https://kaakuri.finna.fi/> [viitattu 12.3.2022].

Mikhailovsky, A. 2017. Motion Capture: What Is It? Teslasuit. Blogi. Päivitetty 13.3.2017. Saatavissa: <https://teslasuit.io/blog/motion-capture-what-it-is/> [viitattu 12.3.2022].

Multi-Aim Constraint. 2022. Unity Technologies. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.animation.rigging@1.2/manual/constraints/MultiAimConstraint.html> [viitattu 26.3.2022].

Khronos Group s.a. OpenXR. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.khronos.org/openxr/> [viitattu 11.4.2022].

OpenXR. 2022. Microsoft. WWW-dokumentti. Päivitetty 6.4.2022. Saatavissa: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/develop/native/openxr> [viitattu 8.4.2022].

Optimize your 3D models to use with Dynamics 365 Guides or in mixed-reality components included in apps created with Power Apps. 2022. Microsoft. WWW-dokumentti. Päivitetty 3.2.2022. Saatavissa: <https://docs.microsoft.com/en-us/dynamics365/mixed-reality/guides/3d-content-guidelines/optimize-models> [viitattu 11.4.2022].

Periodic Table of the Elements. 2021. Microsoft. WWW-dokumentti. Päivitetty 15.7.2021. Saatavissa: [https://github.com/microsoft/MRDL\\_Unity\\_Periodic\\_Table](https://github.com/microsoft/MRDL_Unity_Periodic_Table) [viitattu 25.3.2022].

Remote Rendering Sessions. 2021. Microsoft. WWW-dokumentti. Päivitetty 16.2.2021. Saatavissa: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/remote-rendering/concepts/sessions> [viitattu 7.4.2022].

Rokoko Studio Beta s.a. Rokoko Electronics. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.rokoko.com/studio/beta> [viitattu 16.3.2022].



Smartsuit Pro II s.a. Rokoko Electronics. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.rokoko.com/products/smartsuit-pro/tech-specs> [viitattu 9.3.2022].

Space Pins. 2022. Microsoft. WWW-dokumentti. Päivitetty 31.1.2022. Saatavissa: <https://docs.microsoft.com/en-us/mixed-reality/world-locking-tools/documentation/concepts/advanced/spacepins> [viitattu 21.3.2022].

State Machine s.a. PixelPlacement. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://surge.pixelplacement.com/statemachine.html> [viitattu 20.3.2022].

Stentoumis, I. 2022. Tukihenkilö. Sähköpostikeskustelu 27.1.–10.2.2022. Rokoko Tech Support Team.

The Best Haptic VR Devices and Innovations for 2022. 2022. XR Today. Verkko-lehti. Päivitetty 9.2.2022. Saatavissa <https://www.xrtoday.com/virtual-reality/the-best-haptic-vr-devices-and-innovations-for-2022/> [viitattu 8.3.2022].

Types of mixed reality apps. 2022. Microsoft. WWW-dokumentti. Päivitetty 27.1.2022. Saatavissa: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/discover/types-of-mixed-reality-apps> [viitattu 6.3.2022].

Understanding performance for mixed reality. 2022. Microsoft. WWW-dokumentti. Päivitetty 8.3.2022. Saatavissa: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/develop/advanced-concepts/understanding-performance-for-mixed-reality> [viitattu 30.3.2022].

Welcome to the Mixed Reality Feature Tool. 2022. Microsoft. WWW-dokumentti. Päivitetty 10.3.2022. Saatavissa: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/develop/unity/welcome-to-mr-feature-tool> [viitattu 14.3.2022].

What is mixed reality? 2022. Microsoft. WWW-dokumentti. Päivitetty 8.3.2022. Saatavissa: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/discover/mixed-reality> [viitattu 7.4.2022].

What is the Mixed Reality Toolkit? 2022. Microsoft. WWW-dokumentti. Päivitetty 6.4.2022. Saatavissa: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/mrtk-unity/?view=mrtkunity-2021-05> [viitattu 7.4.2022].

World Locking Tools. 2021. World Locking Tools with Azure Spatial Anchors. Youtube. Videoleike. Julkaistu 1.6.2021. Saatavissa: <https://youtu.be/28lYjbQh8RA> [viitattu 5.4.2022].

World Locking Tools concepts. 2022. Microsoft. WWW-dokumentti. Päivitetty 2.2.2022. Saatavissa: <https://docs.microsoft.com/fi-fi/mixed-reality/world-locking-tools/documentation/concepts> [viitattu 21.3.2022].