

Jani Parkkinen

## Varjon XR-1 VR-lasien käyttöönotto ja soveltaminen hyötypeliprojekteissa



Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintätekniikka

Kevät 2021



KAMK • University  
of Applied Sciences

## Tiivistelmä

**Tekijä(t):** Jani Parkkinen

**Työn nimi:** Varjon XR-1 VR-lasien käyttöönotto ja soveltaminen hyötypeliprojekteissa

**Tutkintonimike:** Insinööri (AMK), tietotekniikka, tieto- ja viestintätekniikan koulutus

**Asiasanat:** Virtuaalitodellisuus, Lisätty todellisuus, Sekoitettu todellisuus, Varjo XR-1, Unreal Engine 4

Opinnäytetyö toteutettiin Clever Simulation Entertainmentille. Clever Simulation Entertainment kehittää uusia sovellusratkaisuja eri alojen käyttöön. Yrityksen tiloissa toteutettiin Varjo XR-1-lasien käyttöönottoaminen sekä demoprojekti lasien ominaisuuksista. Lasien ominaisuuksien käytettävyydestä kirjoitettiin dokumentti yritykselle. Dokumentissa käydään läpi, mitä ohjelmia ja liitännäisiä Varjo-lasit ja Leap Motion-kädet tarvitsevat toimiakseen Unreal Engine-pelimoottorilla. Lisäksi dokumentti sisältää tietoa, miten Varjo-lasien virtuaalisen-, lisätyn ja sekoitetun todellisuuden ominaisuuksia voi hyödyntää Unreal Engine-pelimoottorissa sekä miten niitä voidaan käyttää. Dokumentissa on myös maininta ThunderboltEX 3-tr-laajennuskortin ongelmista. Varjo-lasien kamera toimii vain laajennuskortin toisessa Thunderbolt 3-portissa ja laajennuskortin asentamisen jälkeen tietokone käynnistyy itsestään uudelleen sammutuksen jälkeen.

Varjo XR-1-lasit julkaistiin joulukuun 2. päivä 2019. Lasien näytöt, josta näkee virtuaalitodellisuuteen, on saatu vastaamaan sitä, mitä ihmiset näkevät reaali maailmassa. Lasien kuvanlaatu on parempi kuin kilpailijoiden lasissa. Laseissa on kamera, jolla voidaan hyödyntää lisättyä ja sekoitettua todellisuutta. Lasit vaativat tehokkaan tietokoneen, jossa on tarvittavat portit lasien johtojen liittimille.

Opinnäytetyössä tutkittiin Varjo XR-1-laseja ja lasien käyttämiä virtuaalista-, lisätyn ja sekoitetun todellisuuden tekniikoita. Käytännöntyössä tehtiin Varjo XR-1-lasien käyttöönotto, jossa lasit kiinnitettiin tietokoneeseen ja laitettiin toimimaan tarvittavien ohjelmien, majakoiden ja lisätarvikkeiden kanssa. Tämän lisäksi tutkin, miten Varjo-lasien virtuaalisen-, lisätyn ja sekoitetun todellisuuksien ominaisuuksia voisi hyödyntää hyötypeliprojekteissa ja miten ne toimivat Unreal Engine-pelimoottorissa. Demoprojektissa tutustuttiin, miten Varjo-lasien katseenseurantaa, chroma keytä, Varjo-merkkejä ja Leap Motion käytetään Unreal Engine-pelimoottorin kanssa.

## **Abstract**

**Author(s):** Jani Parkkinen

**Title of the Publication:** Introduction of Varjo XR-1 VR Headset and Application in Serious Games

**Degree Title:** Bachelor of Engineering, Information and Communication Technology

**Keywords:** Virtual reality, Augmented reality, Mixed reality, Varjo XR-1, Unreal Engine 4

The Bachelor's thesis was made for Clever Simulation Entertainment. Clever Simulation Entertainment develops new application solutions for various industries. Introduction of Varjo XR-1 headset and demo project of headset's properties was made in the company's premises. A document was written to the company about the usability of the properties of the headset. The document reviews the programs and plugins Varjo headset and Leap Motion hands need to run on the Unreal Engine game engine. In addition, the document contains information on how the virtual, augmented and mixed reality features of Varjo headset can be utilized in Unreal Engine and how they can be used. The document also mentions the problems with the ThunderboltEX 3-tr expansion card. Varjo headset camera only works on the second Thunderbolt 3 port on expansion card, and after installing the expansion card, the computer restarts automatically after shutting down.

Varjo XR-1 Headset was released December 2<sup>nd</sup>, 2019. The headset's screens that show virtual reality have been made to match what people see in the real world. Screen resolution of the headset is better than that of their competitors' headsets. The headset requires a powerful computer with the necessary ports for the headset's wire connectors.

The thesis researched Varjo XR-1 headset and virtual, augmented and mixed reality technology used by the headset. In practical work, Varjo XR-1 headset introduction was made, where the headset were attached to a computer and made to work with the necessary programs, base stations and accessories. In addition to this, it was studied how the features of virtual, augmented and mixed realities of Varjo headset could be utilized in serious game projects and how they work in Unreal Engine. The demo project familiarized how Varjo headset eye tracking, chroma key, Varjo markers and Leap Motion are used with Unreal Engine.

## Sisällys

1	Johdanto .....	1
2	Todellisuustekniikat .....	2
2.1	Virtuaalitodellisuus - VR .....	2
2.2	Lisätty todellisuus - AR .....	2
2.3	Sekoitettu todellisuus - MR .....	3
3	Varjo XR-1, ominaisuudet .....	4
3.1	Varjo-työtila .....	4
3.2	Tuetut sovellukset .....	6
3.2.1	Unity .....	6
3.2.2	Unreal Engine .....	7
3.2.3	OpenXR .....	7
3.2.4	3D-ohjelmat .....	8
3.3	XR-1, tekniset tiedot .....	9
3.3.1	Lasien VR-näyttö .....	9
3.3.2	Lasien kamera ja kuvantamisputki .....	10
3.3.3	Lasien katseenseuranta .....	10
3.3.4	Muut tiedot .....	10
3.4	Järjestelmävaatimukset .....	11
3.4.1	Laitteistovaatimukset .....	11
3.4.2	Ohjelmat .....	12
3.4.3	Lisätarvikkeet .....	18
3.4.4	Majakkaversiot .....	20
4	Varjo XR-1-lasien käyttäminen .....	21
4.1	XR-1-lasien käyttöönotto .....	21
4.2	Unreal Engine 4 pelimoottorin käyttäminen XR-1-lasien kanssa .....	23
4.2.1	Katseenseuranta .....	24
4.2.2	Sekoitetun todellisuuden käyttäminen .....	26
4.2.3	Varjo-merkki .....	29
4.2.4	Leap motion-kädet .....	31
5	Yhteenveto ja pohdinta .....	33

Lähteet .....	34
---------------	----

## Symboliluettelo

Ajuri	Ohjelmisto, joka ohjaa tietokoneen oheislaitetta.
AR	Augmented reality. Lisätty todellisuus ja tässä tuodaan virtuaaliset esineet reaalitymaailman ympäristöön.
Blueprint	Visuaalista ohjelmointia, jossa yhdistetään solmuja, tapahtumia, funktioita ja muuttujia.
Demo	Havaintoesitys, demonstraatio, demonstrointi, havainnollistus, havainnollistaminen.
DisplayPort	Digitaalinen näyttöliitäntästandardi, joka määrittelee liittimen, kaapelin ja tiedonsiirron laitteiden välillä.
Emolevy	Tietokoneen keskeinen piirilevy, johon tietokoneen muut osat kiinnitetään.
Funktio	Laskulauseke, jonka avulla siihen sijoitetun luvun perusteella saadaan laskettua toinen luku
GPS	Global positioning system. Satelliittipaikannus, joka määrittää laitteen sijainnin muutaman metrin tarkkuudella.
Gyroskooppi	Pyörivä pyörä, jota käytetään asennon mittaamiseen ja vakauttamiseen.
HDMI	High-definition multimedia interface. Kuvan ja äänen siirtämiseen suunniteltu johto, jota käytetään näytöissä ja näyttönohjaimissa.
Hz	Hertsi on yksikköjärjestelmän mukainen taajuuden yksikkö.
Infrapunasensori	Tunnistaa lämpösäteilyn vaihtelut kohteen liikkeen ansiosta.
Interpolointi	Suureen tunnettujen tai taulukoitujen arvojen välissä olevien arvojen laskeminen.
Kalibrointi	Mittalaitteen antamaa lukemaa verrataan jäljiteltävästi kalibroituun mittanormaaliin.
Kantaluku	Kertoo, mitä numeroita on lukujärjestelmässä.

Kompassi	Suunnistamiseen ja navigointiin käytetty väline.
Koordinaatti	Kohteen sijainti maapallolla tai karttakoordinaattijärjestelmässä kertovia koordinaattilukuarvoja.
Liitännäinen	Tietokoneohjelma, joka toimii vuorovaikutuksessa isäntäsovelluksen kanssa.
Lineaarinen	Suoraviivainen yhteys, joka tarkoittaa yhteydet voidaan esittää ensimmäisen asteen yhtälöinä.
Megapikseli	Miljoona pikseliä.
Merkki	Käytetään jäljittämään virtuaalisia esineitä ympäristössä.
MR	Mixed reality. Sekoitettu todellisuus on todellisuus, missä yhdistetään AR- ja VR-todellisuuksia.
Näytönohjain	Tietokoneen komponentti, joka piirtää grafiikan tietokoneen näytölle.
Ohjelmointirajapinta	Määritelmä, jonka mukaan ohjelmat voivat pyytää tai vaihtaa tietoja keskenään.
PDF	Portable document format. Adoben siirrettävä tiedostomuoto.
Pelimoottori	Videopelin ohjelmistokehys, jonka päälle voidaan rakentaa pelejä.
Pikseli	Kuvapiste, joka on bittikarttagrafiikassa kuvan pienin yksittäinen osa.
Polynomi	Summanlauseke, jonka termien muuttujaosissa esiintyvät potenssit ovat kaikki ei negatiivisia kokonaislukuja.
QR-koodi	Quick response code. Kaksiulotteinen kuvio, johon on koodattu informaatiota.
Resoluutio	Kvantarkkuus.
Simulointi	Todellisuuden jäljittelyä.
Thunderbolt	Intelin kehittämä väylätekniikka.

USB-A	Universal serial bus type A. Sarjaväyläarkkitehtuuri oheislaitteiden liittämiseksi tietokoneeseen.
USB-C	Universal serial bus type C. 24-nastainen datan ja energian siirtoon käytettävä USB-liitäntä. Intelin Thunderbolt 3 käyttää Type-C liitintä.
VR	Virtual reality. Virtuaalitodellisuus on 3D-ympäristö, jossa pystyy tutkimaan ympäristöä liikkumalla ja olla vuorovaikutuksessa sen kanssa.
XR	Extended reality. Laajennettu todellisuus viittaa kaikkiin ympäristöihin, joissa todellisuus ja virtuaalimaailma kohtaavat.

## 1 Johdanto

Suomalainen yritys Varjo julkaisi Varjo XR-1-lasit joulukuun 2. päivä 2019. Laseissa on uusia ja parannettuja ominaisuuksia virtuaali- ja sekoitetun todellisuuksien kehitystä varten. Yritys tekee myös yhteistyötä eri yritysten kanssa, jotka käyttävät Varjon laseja omissa sovelluksissaan.

Laseissa on tarkka kuvanlaatu virtuaalitodellisuuteen, joka vastaa ihmisen silmien näköä reaali-maailmassa. Lasien edessä oleva kameralla onnistuu lisätyn ja sekoitetun todellisuuden ominai-suudet, jotka toimivat Varjon merkeillä ja chroma keyllä. Varjon merkit mahdollistavat esineiden ilmestymisen virtuaalitodellisuudessa tai reaali-maailmassa. Chroma keyn avulla voidaan nähdä reaali-maailmassa olevan vihreän värin kautta virtuaalitodellisuuteen. Virtuaalitodellisuudesta voidaan myös nähdä reaali-maailmaan.

Varjo XR-1-lasit on suunniteltu käytettäväksi sovelluksissa, joissa hyödynnetään virtuaalista, lisät-tyä ja sekoitettua todellisuutta, joten aluksi on hyvä tutustua näihin todellisuustekniikoihin. To-dellisuustekniikoiden lisäksi käydään läpi lasien teknisiä tietoja, mitä sovelluksia ne tukevat ja mitä ne tarvitsevat toimiakseen.

Opinnäytetyössä tutustutaan Varjo XR-1-lasien käyttöönottamiseen, käyttämiseen ja niiden omi-naisuuksiin. Toimeksiantotyössä toteutettiin käyttöönotto, jossa laitettiin lasit käytettäväksi Cle-ver Simulation Entertainmentin tietokoneelle. Lisäksi toteutin yritykselle demoprojektin, jossa ko-keiltiin, miten lasien ominaisuudet toimivat ja miten niitä voisi hyödyntää yrityksen tulevaisuuden projekteissa. Demoprojektissa myös keuhkeiltiin, miten Leap Motion-käsiä voisi hyödyntää Varjo XR-1-lasien kanssa.

## 2 Todellisuustekniikat

Aluksi tutustutaan erilaisiin todellisuustekniikoihin, mitä on kehitetty. Tämä luku käsittelee virtuaali-, lisätyn ja sekoitetun todellisuudet.

### 2.1 Virtuaalitodellisuus - VR

VR on 3D-ympäristö, jossa pystyy tutkimaan ympäristöä liikkumalla ja olemalla vuorovaikutuksessa sen kanssa. VR:ää on hyödynnetty peleissä, 360-kuvissa ja 360-Youtubevideoissa. VR-laseilla saadaan VR:stä mahdollisimman realistinen. Laseilla saadaan näkymä VR:ään, kuten olisi itse osana todellisuutta. [1, s. 6]

VR-lasien näyttöihin lähetetään kuvaa HDMI-kaapelilla tietokoneen näytönohjaimelta. Laseissa on molemmille silmille oma kuva, jolla saadaan VR:ään samanlainen näkymä kuin ihmisillä on reaalityodellisuudessa. [1, s. 10] VR:ssä on tärkeää, että todellisuuteen on hyvä näkökenttä ja virkistystaajuus. Näkökentän olisi hyvä olla mahdollisimman laaja, jotta lasien käyttäjän on helpompi tuntea olevansa VR:ssä. Suurella virkistystaajuudella pystytään vähentämään pahoinvoinnin mahdollisuutta, joka saattaa tulla VR:ssä. Lisäksi sillä saadaan VR:ssä olevista liikkeistä sulavampia. [1, s. 11] Virkistystaajuuden tulisi olla vähintään 60 Hz. Mitä korkeampi virkistystaajuus, sitä sulavampia liikkeet ovat ja sen pienempi mahdollisuus pahoinvoinnille. [1, s. 12]

VR-lasit seuraavat pään liikkeitä ja lasien sijaintia reaali maailman pelialueella. Pään liikkeet toistetaan VR:ssä ja sijainti muuttuu saman verran kuin lasien käyttäjä liikkuu reaali maailmassa. Lasien sijainnin muutosta seurataan majakoiden avulla. [1, s. 12] VR-lasien kanssa voidaan käyttää ohjaimia, joilla voidaan esimerkiksi VR:ssä käyttää tai nostella esineitä [1, s. 13].

### 2.2 Lisätty todellisuus - AR

AR:ssä tuodaan virtuaaliset esineet reaali maailman ympäristöön. Tässä todellisuudessa yritetään saada virtuaalisten esineiden tuominen reaali maailmaan, jotta se tuntuisi, että ne oikeasti olisivat siellä. [2, s. 5] Esineiden sijoittelu reaali maailman ympäristöön tapahtuu QR-koodeilla ja kuvilla, joista AR-laitteet tunnistavat, mihin esine on tarkoitus sijoittaa. Esineiden lisäksi AR:ssä on ääniä, kuvia ja GPS-informaatio. [2, s. 6]

AR:llä on kaksi tunnistustapaa, jotka ovat merkkipohjainen ja merkitön tunnistus [2, s. 16]. Merkkipohjaisessa tunnistuksessa tunnistetaan merkkejä tai kuvioita. Nämä merkit tai kuviot asetetaan reaali maailmassa paikkaan, missä haluaa esineiden näkyvän. Järjestelmän tunnistessa merkin tai kuvion se laskee sen sijainnin ja asennon. [2, s. 17] Merkittömässä tunnistuksessa käytetään ympäristössä tunnistettavia piirteitä, GPS-sijaintia, infrapunasensoreja, kompassia tai gyroskooppia. Näitä merkittömiä tunnistusmenetelmiä voidaan myös yhdistellä. Merkittömässä tunnistuksessa on kuitenkin ongelmia, jos ympäristö on epäsäännöllinen ja kameroiden syvyyssnäön puuttumisen takia. [2, s. 18]

AR:llä on päässä ja kädessä pidettäviä laitteita sekä projektiolaitteita. Päässä pidettävissä laitteissa käytetään optisia näyttöjä tai videonäyttöjä. Optisessa näytössä heijastetaan virtuaalinen tieto läpinäkyvään pintaan. Videonäyttö on läpinäkymätön pinta, johon kuvataan ympäristöä kameralla, ja tähän videonäytön pintaan tuodaan virtuaalinen tieto. [2, s. 18] Kädessä pidettäviä laitteita ovat älypuhelimet, kannettavat tietokoneet ja taulutietokoneet. AR:n sovellukset vaativat kädessä pidettäviltä laitteilta, että niissä on kamera ja näyttö. [2, s. 20] Projektiolaitteet tuovat tietokoneelta tai muulta laitteelta kuvan valkokankaalle tai jollekin muulle pinnalle [2, s. 21].

### 2.3 Sekoitettu todellisuus - MR

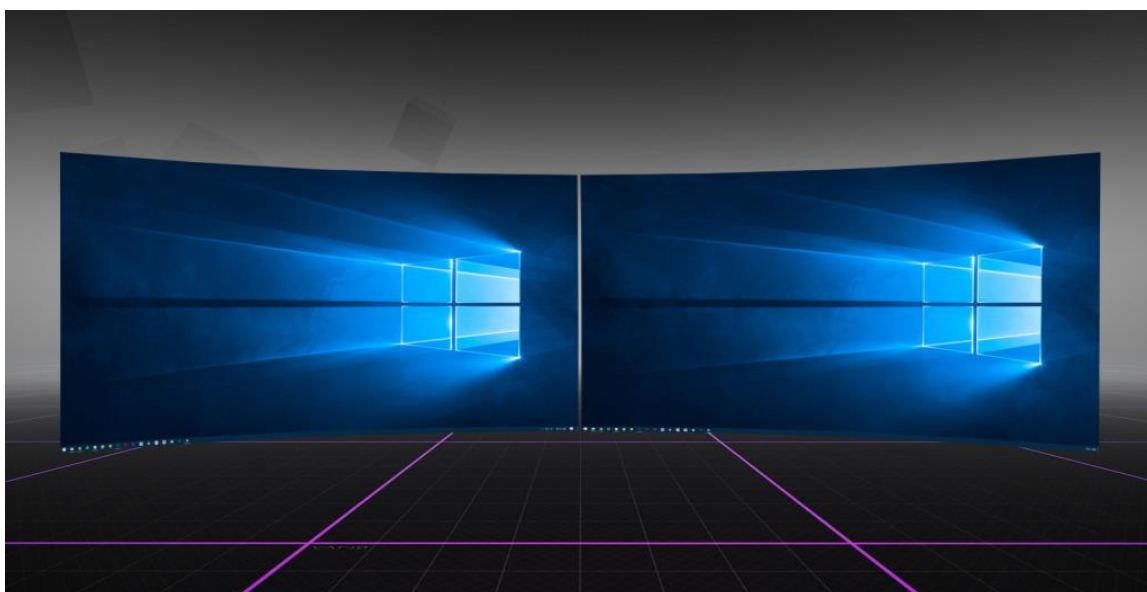
MR on todellisuus, missä yhdistetään AR- ja VR-todellisuuksia. MR:ssä pystytään simuloimaan esimerkiksi auton ajamista tai muita simuloitavia tilanteita. Simuloinnissa käytetään VR:ää, ja tähän näkymään tuodaan reaali maailmasta esimerkiksi tietokoneeseen liitettävä auton ratti, jolla voidaan ohjata VR:ssä olevaa autoa. [3, s. 25] MR:ssä voidaan myös käyttää reaali maailmaan näkymää, johon tuodaan AR:n virtuaalisia esineitä [3, s. 26].

### 3 Varjo XR-1, ominaisuudet

Tässä luvussa kerrotaan Varjo XR-1-lasien ominaisuuksista, mitä sovelluksia lasit tukevat ja mitä niiden käyttäminen vaatii järjestelmältä.

#### 3.1 Varjo-työtila

Varjo-virtuaalityötila mahdollistaa Windowsin käyttämisen samaan aikaan, kun Varjo-lasit ovat päällä (Kuva 1) [4].



Kuva 1. Varjo-virtuaalityöpöytä.

Virtuaalinen sovellus pystytään avaamaan käyttämällä pikanäppäintä tai menemällä järjestelmäasetuksien kautta. Pikanäppäimen pystyy määrittelemään Varjo Base-ohjelman Workspace-välilehden alta, josta löytyy Virtual desktop shortcut. Pikanäppäimeksi voidaan asettaa jokin hiiren lisäpainike tai näppäimistön näppäin. Seuraavia näppäimiä ei voida käyttää pikanäppäimenä: Esc, Windows, Enter, keskinäinen, oikea tai vasen hiiren painike. Järjestelmäasetuksien kautta pystytään vaihtamaan aktiivisena olevan virtuaalisovelluksen ja työtilan välillä. [4.]

Työtilaan pystytään lisäämään yksi tai useampi virtuaalinäyttö käyttäjän tarpeen mukaan. Virtuaalista työpöytää voidaan ohjata ohjaimella, näppäimistöllä ja hiirellä. Ohjaimen osoitin toimii hiirenä, jolla voidaan avata haluamiaan ominaisuuksia tai ohjelmia työpöydältä. Hiirtä ja näp-

päimistöä voidaan käyttää samalla tavalla, kuin käyttäisi tietokonetta tavallisesti. Hiiren ja näppäimistön näkeminen virtuaalisessa ympäristössä vaatii seuraavan asetuksen päälle: Show keyboard and mouse. Asetuksen löytää Workspace-välilehden alta, kun asetus on päällä käyttäjän katsoessa alas, pitäisi hiiren ja näppäimistön näkyä. Workspace-välilehden alta löytyy myös asetuksia, joilla voidaan muokata työpöytää. [4.]

Virtuaalinäytöt voidaan sijoittaa käyttäjän haluamalla tavalla, esimerkiksi miten tietokoneen näytöt on asetettu reaali maailmassa tai kokonaan eri paikkoihin. Näyttöjen asetuksia päästään muokkaamaan Workspace-välilehden alta, josta valitaan Display setup. Näistä asetuksista voidaan muokata näyttöjen kokoa, sijaintia sekä etäisyyttä. Halutessaan käyttäjä voi siirtää virtuaalista työtilaa toiseen sijaintiin huoneessa, jonka hän voi tehdä Varjo base-ohjelmalla. Aluksi valitaan huoneesta uusi sijainti. Sijainnin löydyttyä käyttäjä menee lasit päässä uuteen sijaintiin ja katsoo siihen suuntaan, kun haluaa virtuaalisten näyttöjen olevan. Paikan löydyttyä tulee valita Reposition your virtual desktop-asetus, joka löytyy järjestelmäasetuksista Workspace-välilehden alta. Tämän jälkeen näytöt siirtyvät tähän paikkaan. [4.]

Varjo-työtilassa näkyvät tietokoneeseen kiinnitetyt näytöt virtuaalisina. Niiden määrä riippuu siitä, kuinka monta niitä on kiinnitetty tietokoneeseen. Työtilassa pystyy käyttämään sovelluksia, jotka näkyvät virtuaalinäytöissä virtuaalisessa ympäristössä. 3D-mallit näkyvät virtuaalinäyttöjen vieressä, ja niitä voidaan mallintaa reaaliajassa. Sovelluksien käyttöön voidaan tarvita myös näppäimistöä ja hiirtä, jotka myös näkyvät virtuaalisessa työtilassa. Reaaliaikainen mallinnus voidaan tehdä VR:ssä tai Varjo-lasien kameran videokuvassa. Tällä voidaan nähdä, miltä 3D-mallit näyttävät virtuaalisessa tai reaalityodellisuudessa reaaliajassa, kun niihin tehdään muutoksia (Kuva 2). [5.]



Kuva 2. 3D-mallinnus työtilassa.

### 3.2 Tuetut sovellukset

Laseille on lisätty tuki Unreal Engine- ja Unity-pelimoottoreille. Pelimoottorien lisäksi myös sovelluksen ohjelmointirajapinnalle OpenXR ja joillekin 3D-sovelluksille. Tässä luvussa kerrotaan edellä mainituista sovelluksista.

#### 3.2.1 Unity

Unity on pelimoottori, jolla pystyy luomaan 2D- ja 3D-ulottuvuudessa olevia pelejä ja sovelluksia [6]. Unity-pelimoottorissa on ohjelmointikielenä c# [9]. Unityssä rakennetaan peli skeneihin, joka sisältää ympäristön ja mitä ympäristöön on sijoitettu. Skenejä voidaan vaihtaa, jos pelissä tarvitsee siirtyä toiseen ympäristöön. Skeneen voidaan myös tehdä valikkoja. [8.] Ympäristöön asetettavat asiat ovat GameObjecteja, jotka voivat olla hahmoja, esineitä, kameroita tai erikoiseffektejä. GameObjecteille lisätään komponentteja, joilla voidaan määrittää mitä niiden on tarkoitus tehdä. Ohjelmoija voi halutessaan myös tehdä omia komponentteja, joita voidaan ohjelmoida. [7.]

2017.3-versiossa lisättiin tekstieditori MonoDevelop, joka auttaa ohjelmointityössä. MonoDevelop ilmoittaa, jos koodissa on virheitä. MonoDevelop myös tarjoaa ehdotuksia komennoista, mikä

nopeuttaa ohjelmointityötä. Unityn 2018.1-versiossa pystyy myös käyttämään Visual Studio-, Notepad- ja Sublime-tekstieditoreita. [9.] 2019.3-versiossa lisättiin laajennetulle todellisuudelle tuki, joka sisältää virtuaalisen, sekoitetun ja lisätyn todellisuuden [10]. Unityn verkkosivulta löytyy hyvä dokumentaatio siitä, miten pelimoottoria ja sen ominaisuuksia käytetään.

### 3.2.2 Unreal Engine

Unreal Engine on pelimoottori, jolla voi työskennellä c++-ohjelmointikielellä tai Blueprint-ohjelmoinnilla. Tämä pelimoottori käyttää Visual Studiota tai XCode-tekstieditoria c++-ohjelmointiin. [12.] Visual Studiassa koodin käännettyä näkee ohjelmoidut muutokset heti Unreal Enginen puolella [13]. Blueprint-ohjelmointi on visuaalista ohjelmointia, jossa yhdistetään solmuja, tapahtumia, funktioita ja muuttujia. Blueprintsissa on kahta erilaista tyyppiä: luokka- ja taso-Blueprintit. Taso-Blueprintiin voidaan ohjelmoida, mitä taso sisältävät. Tasoihin voidaan asettaa erilaisia esineitä, joille voidaan asettaa Blueprint-luokkia. Taso-Blueprintissa voidaan viitata esineitä ja ohjata, mitä tasossa tulee tapahtumaan. Tasoja voi olla useampi, ja niitä voidaan vaihdella taso-Blueprintissa. Blueprint-luokkiin voidaan ohjelmoida esineiden toiminnallisuudet. Esine voi olla esimerkiksi ovi, ja tähän ohjelmoidaan oven avaaminen. Samaa esinettä voidaan asettaa useampaan paikkaan pelimaailmassa, mikä helpottaa pelimaailman rakentamista. Tällä voidaan välttää, ettei tarvitse tehdä samaa esinettä montaa kertaa uudestaan. [14.]

Unreal Engine 4.17-versiossa lisättiin mahdollisuus suunnitella ja kehittää VR:ssä olevia ympäristöjä. Tässä versiossa on myös ominaisuus, jossa kehittäjä pystyy rakentamaan VR-ympäristöä VR:ssä. Rakentamista ohjataan Viven ohjaimilla, joilla voidaan käyttää tuttuja pelimoottorin työkaluja virtuaaliympäristössä. [11.] Pelimoottorissa on myös tuki laajennetulle todellisuudelle, joka tarkoittaa virtuaalista, lisättyä ja sekoitettua todellisuuksia [15]. Unreal Enginen verkkosivuilla on myös hyvä dokumentaatio siitä, miten sitä käytetään.

### 3.2.3 OpenXR

OpenXR on sovelluksen ohjelmointirajapinta, jota käytetään laajennetun todellisuuden sovelluksissa. Rajapinnan XR runtime system hoitaa seuraavia toiminnallisuuksia: ruudun muodostaminen, oheislaitteiden hallinta, käsittelemättömän jäljityksen tiedon ja myös tarvittaessa tuki lait-

teiden liitännäisille. OpenXR toiminnot ohjaavat laajennetun todellisuuden järjestelmien toimintoja sekä pidentää laajennetun todellisuuden sovelluksen käyttöikää. [16, s. 7] OpenXR luotiin, jotta pystyttäisiin työskentelemään helpommin virtuaali-, lisätyn ja sekoitetun todellisuuksien kanssa. Tämän mallin on tarkoitus tyydyttää ohjelmoijien ja toteuttajien tarpeita kehitystyössä. OpenXR ongelmista sekä ohjelmointi virheistä voi ilmoittaa Khronos yrityksen OpenXR Github-sivulla. Github-sivun Issues-välilehdeltä pystyy tarkastelemaan ilmoitetuista ongelmista. [16, s. 8] OpenXR:n käytöstä löytyy dokumentaatio yrityksen verkkosivuilta specification-välilehden alta, joka avaa uuden sivun. Tämän sivun OpenXR 1.0 API Specifications otsikon alta löytyy PDF linkki, jota klikkaamalla tämä avaa pdf dokumentin. Dokumentti on todella laaja ja sisältää 549 sivua, miten OpenXR:ä pystytään käyttämään.

### 3.2.4 3D-ohjelmat

Varjo XR-1-laseilla on tuki useampaan 3D-ohjelmaan. Laseja käyttäen on luotu harjoitus-, simulaatio- ja 3D-mallinnus 3D-ympäristöjä.

Prepar3D on sovellusalusta, jolla pystyy luomaan VR:ssä olevia harjoitustilanteita [18]. Prepar3D v5-versiossa lisättiin tuki Varjo XR-1-lasien virtuaaliseen- ja sekoitettuun todellisuuteen. Todellisuuksia ja Varjo-lasien ominaisuuksia käyttäen Prepar3D:lle toteutettiin realistisempi simulointi. Tässä simuloinnissa harjoituksen harjoittelijat pystyvät näkemään kaikki pienimmätkin yksityiskohdat ympäristössä. Nämä kohteet nähdään realistisen näköetäisyyden päässä. [17.]

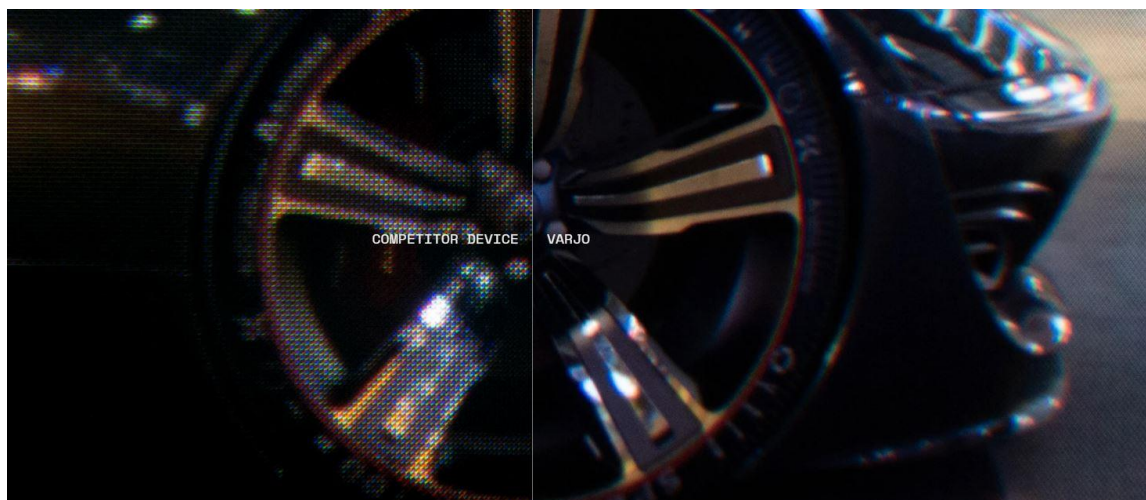
TechViz on VR-ohjelmaeditori. Ohjelmaa käytetään millä tahansa VR-järjestelmällä. Ohjelma näyttää miltä CAD-ohjelmien mallit näyttäisivät VR-ympäristössä. Ohjelma on tehty välttämään VR:stä johtuvaa liikepahoinvointia, jotta käyttökokemus olisi mahdollisimman hyvä. Ohjelmaa voi käyttää: Windows 7, 8, 10 ja Linux käyttöjärjestelmissä. Ohjelma on yhteensopiva 3D-sovellusten kanssa, jotka on tehty OpenGL:llä tai DirectX:llä. TechViz on johtava yritys 3D-visualisointiohjelma Markkinoilla. [20] TechViz lisäsi 2019 heinäkuussa yhteensopivuuden Varjo-VR-laseille heidän ohjelmaansa. Tämä mahdollistaa 3D-mallien tarkastelun VR-ympäristössä Varjo-lasien ihmisen silmien tarkalla resoluutiolla. [19.]

### 3.3 XR-1, tekniset tiedot

Varjon XR-1-lasien näyttö on tarkempi kuin kilpailijoidensa lasissa, josta selitetään tarkemmin seuraavaksi. Tämän lisäksi käydään läpi muita teknisiä tietoja lasista.

#### 3.3.1 Lasien VR-näyttö

Lasit käyttävät bionisia näyttöjä. Näytön resoluutio vastaa 20/20 näkökykyä, joka vastaa ihmisten näkökykyä. Näyttö on niin tarkka, että lasien käyttäjä pystyy lukemaan pientä tekstiä 6 metrin etäisyydestä virtuaaliympäristössä, samalla tavalla kuin reaalimaailmassa. Tällä saadaan VR näyttämään mahdollisimman realistiselta. Näyttö on myös välkkymätön, joka päivittyy 60/90 Hz taajuudella. Näytöt ovat 20 kertaa tarkemmat, kuin Varjon kilpailijoiden lasissa (Kuva 3). [21.]



Kuva 3. Varjo-lasien näyttöjen kuvanlaatu on parempi kuin kilpailijoiden lasissa.

Laseissa on molemmille silmille oma näyttö, jotka koostuvat yhdestä micro-oled alhaisen pysyvyyden mikronäytöstä ja yhdestä AMOLED alhaisen pysyvyyden mikronäytöstä. Micro-oled näyttöjen resoluutio on 1920x1080 ja AMOLED näyttöjen resoluutio on 1440x1600. Näytöissä 87 asteen laaja näkökenttä, jossa on hyödynnetty näitä mikronäyttöjä. Erinomainen kuvanlaatu ja tarkuus on saatu lisäämällä tummin ja erilleen kalibroidut värit. [21.]

### 3.3.2 Lasien kamera ja kuvantamisputki

Laseissa on etupaneelissa kaksi kappaletta 12 megapikselin kameraa, jotka päivittyvät 90 Hz taajuudella. Kamerassa on 94 asteen ympyrän muotoinen alue, jota kamera kuvaa. Lasien mukana tulee 10m Thunderbolt 3-johto, jolla yhdistetään kamera kiinni tietokoneen Thunderbolt 3-porttiin. Laseissa on anturijärjestelmä, jossa on 2 kappaletta laajakulmakameraa ja ledejä. Videon läpikulussa on matala viiveinen ja vakaa syvyyskuvaus. Tämä syvyyskuvaus toteutettiin synkronoimalla syvyysjärjestelmä videon läpikulun kanssa. [23, s. 4]

Kuvantamisputkessa on kaksi suoratoisto videokuvaa molemmille silmille. Tämän videokuvan resoluutio on laskettu alaspäin 1008x1008 resoluutiosta 834x520 resoluutioon. Videokuvan suoratoistolla on alle 20 millisekunnin viive. [23, s. 4]

### 3.3.3 Lasien katseenseuranta

Laseissa on 100 Hz taajuuden tarkka katseenseurannan jäljitys, joka tarjoaa tarkan katseenseurannan reaalityökaluudessa ja VR:ssä. Lasien käyttäjän käyttäessä silmälasia tai piilolinssejä ei vaikuta katseenseurannan tuloksiin. [23, s. 4] Katseenseurannassa on kumpaakin silmää kohden yksi kamera, jonka resoluutio on 1280x800. Lasien pupillien välinen etäisyys on 61-73mm, joka tarkoittaa mikä on etäisyys silmienpupilleista silmien välissä olevaan keskipisteeseen. [22.] Lasit tarkastavat pupillien välisen etäisyyden automaattisesti, joka tekee katseenseurannan kalibroinnista helppoa ja tarkan [23, s. 4].

### 3.3.4 Muut tiedot

Pelkät Varjo-lasit painavat 1050 grammaa ja johtojen sekä muiden lasiin kiinnitettävien osien kanssa 1300 grammaa. Lasien jäljitys on yhteensopiva SteamVR- ja ART-ohjelmien kanssa. Lasit on suunniteltu siten että niiden käyttäminen onnistuu silmälasien kanssa ja että Varjo-laseja käytettäessä ilma vaihtuu jatkuvasti. Lasien nauha osat, jotka pitävät lasit päässä ovat säädettävät ja ne voidaan irrottaa. Lasien mukana tulee kaksi eri kokoista kasvotyynyä, jotka tulevat kasvojen ja lasien väliin. Kasvotyyny on helppo vaihtaa. [23, s. 4]

### 3.4 Järjestelmävaatimukset

Varjo XR-1-lasien käyttäminen vaatii tehokkaan tietokoneen ja tiettyjä ohjelmia toimiakseen. Tässä luvussa selitetään tarkemmin, mitä lasit vaativat toimiakseen tietokoneella.

#### 3.4.1 Laitteistovaatimukset

Varjo XR-1-lasit vaativat tehokkaan pöytäkoneen tai kannettavan tietokoneen. Varjo Base-ohjelmalla pystyy tarkastamaan tietokoneen yhteensopivuuden lasien kanssa. Tämän ohjelman pystyy lataamaan Varjon kotisivun Support-sivulta. Tämän sivun vasemmasta alakulmasta löytyy Downloads-linkki, joka vie ohjelman lataussivulle. Tietokoneella tulee olla Windows 10 käyttöjärjestelmä. Lasien kamera käyttää Thunderbolt 3-porttia, joten tietokoneen emolevyllä tulee olla tämä portti. Joillekin emolevyille pystyy lisäämään Thunderbolt 3-laajennuskortin PCI-Express väylään. Lasien näytöt vaativat kaksi kappaletta Mini DisplayPort 1.2 tai DisplayPort 1.2 johtoa, jotka menevät kiinni näytönohjaimeen.

Taulukko 1. Laitteisto minimivaatimukset Varjo XR-1-laseille.

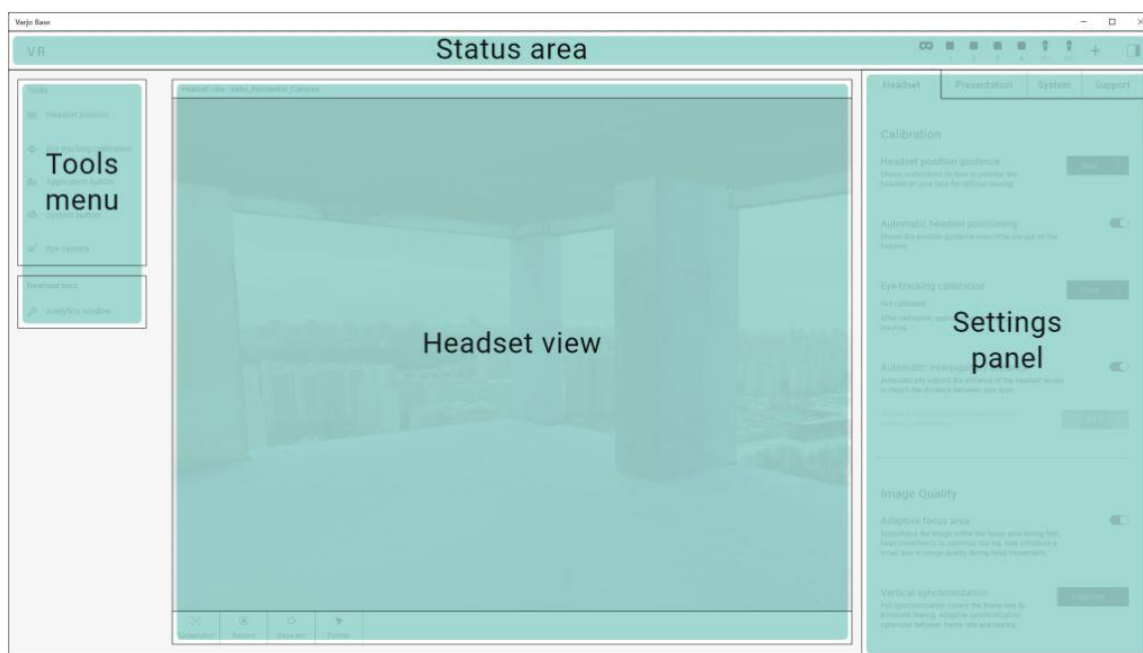
Laitteisto vaatimukset	Varjo XR-1	
	<b>Komponentit</b>	<b>Minimi vaatimukset</b>
	<b>Emolevy</b>	Z390 Phantom Gaming ITX/AC ASRock X570 Phantom Gaming-ITX/TB3 Prime Z390-A Motherboard w/ ThunderBoltEX 3 Extension card Z390 DESIGNARE Z390 AORUS Xtreme Z490 VisionD
	<b>Suoritin</b>	Intel Core i7-7820X
	<b>Näytönohjain</b>	NVIDIA GeForce RTX 2080 Ti NVIDIA Quadro RTX 6000
	<b>Keskusmuisti</b>	32 GB
	<b>Kovalevytilaa</b>	2 GB
	<b>Videoulostulo</b>	2x DisplayPort 1.2 2x Mini DisplayPort 1.2
	<b>USB portti</b>	1x USB-A 3.0 port Tai uudempi
	<b>Thunderbolt portti</b>	1 x Thunderbolt™ 3 portti
	<b>käyttöjärjestelmä</b>	Windows 10(64-bit)

Taulukko 1:stä näkee, minkälainen on tietokoneen minimivaatimus lasien käyttämistä varten (Taulukko 1). Tällä hetkellä Lasit eivät tue AMD-näytönohjaimia. [27.] Varjo-lasit tarvitsevat

Thunderbolt 3-portin emolevyiltä tai laajennuskortilta. Taulukko 1:stä näkee yhteensopivat emolevyt lasien kanssa (Taulukko 1). [24.]

### 3.4.2 Ohjelmat

Varjo Base-ohjelma tarvitaan Varjon XR-1-lasien käyttämistä varten. Tällä ohjelmalla pystyy käyttämään lasien ominaisuuksia. Ohjelmassa näkyy reaaliajassa oleva kuva, josta näkee mitä virtuaaliympäristössä tai kameran kuvassa näkyy (Kuva 4). [26.]



Kuva 4. Varjo Base-ohjelma.

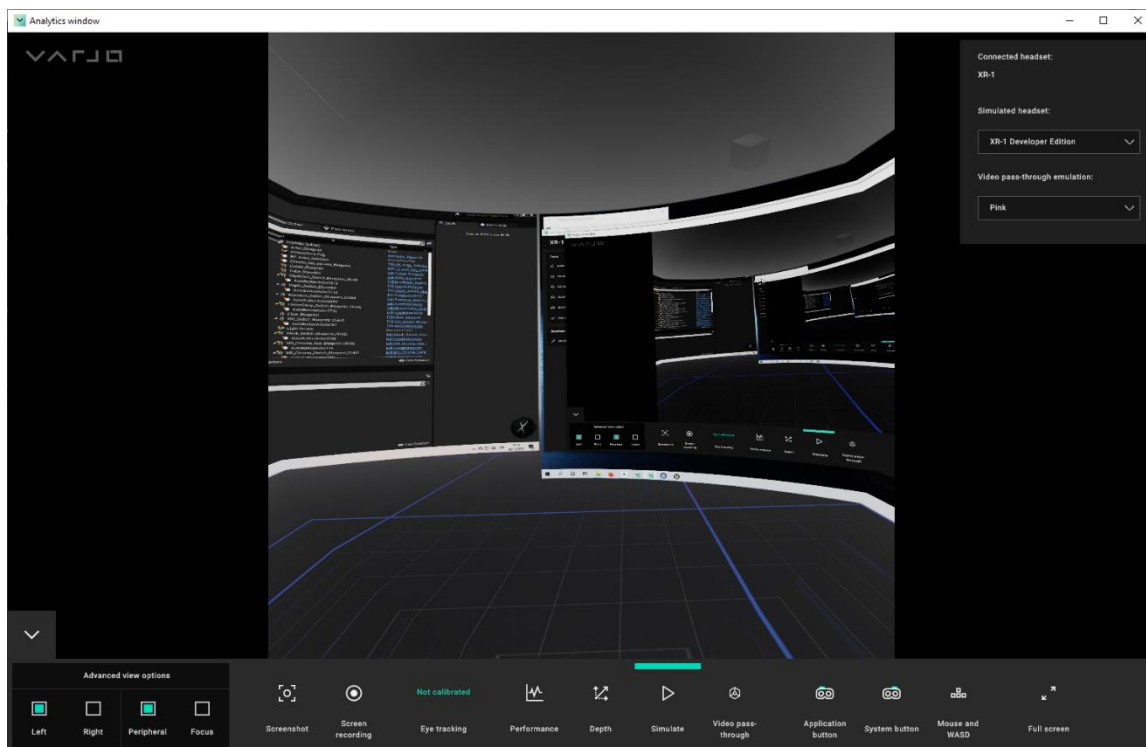
Ohjelman vasemmassa alakulmassa on neljä erilaista hiirellä klikattavaa nappulaa. Screenshot-nappulalla voidaan ottaa kuvia siitä, mitä käyttäjä näkee lasien näytöillä. Nämä kuvat tallentuvat Windowsin kuvat kansiossa olevaan Varjo kansioon. Record-nappulalla voidaan tallentaa videota siitä, mitä lasien näytöillä näkyy videonkuvaamisen ajan. Videot tallentuvat Windowsin Videot kansiossa olevaan Varjo kansioon. Gaze dot-nappula tekee pisteen virtuaaliympäristöön, joka liikkuu siihen pisteeseen, mihin lasien käyttäjä katsoo. Tämä ominaisuus tarvitsee katseenseurannan kalibroinnin. Pointer-nappula muuttaa hiiren kursorin virtuaaliympäristössä toimivaksi osoittimeksi. [26.]

Ohjelman oikealta puolelta löytyy asetukset, josta löytyy Presentation-välilehti. Nämä asetukset sisältävät ominaisuuksia, joita ei haluta vahingossa laittaa päälle. Tästä syystä ne laitettiin tämän

välilehden alle, eikä niille ole pikanäppäimiä laseissa. Disable headset buttons ottaa pois käytöstä lasien nappulat, mutta lasien ominaisuuksia voi käyttää vielä Varjo Base-ohjelman kautta. Disable mouse in headset ottaa lasien hiiren pois käytöstä, mutta hiiri toimii vielä tietokoneen kautta. Disable notifications in headset ottaa ilmoitukset pois lasien käyttäjältä, mutta virhe ilmoitukset näkyvät vielä asetuksen käyttöönoton jälkeen. Optimize performance ottaa käytöstä Varjon prosessit, joita ei käytetä käynnissä olevassa sovelluksessa. Tällä saadaan parannettua tietokoneen suorituskykyä käyttäessä laseja avoimena olevassa sovelluksessa. [26.]

Ohjelman oikeassa yläkulmassa näkyy yhdistettyjen laitteiden tila ja josta näkee, mitä laitteita on yhdistetty. Yhdistettäviä laitteita on Varjo-lasit, SteamVR-majakat ja VIVE-ohjaimet. Lasien oletusohjelma jäljitykseen on SteamVR, tällä saadaan tarkka sijainti laseista ja ohjaimista. Tästä kohdasta ohjelmaa näkee myös, missä tilassa laitteet ovat. Laitteiden ollessa yhteydessä niitä pystytään jäljittämään. Laitteet ovat merkitty valkoisella ohjelman tila-alueella. Harmaalla merkityt laitteet ovat yhteydessä, mutta niitä ei pystytä jäljittämään. Laitteet eivät ole yhdistetty koneella, jos ne näkyvät mustana tila-alueella. Laitteiden alla näkyy paljonko akkua jäljellä, jos laitteissa on akku. Kun akku on loppumassa, numero näkyy punaisella. Akkua ladatessa numeron vasemmalla puolella näkyy pieni salaman kuva. [26.]

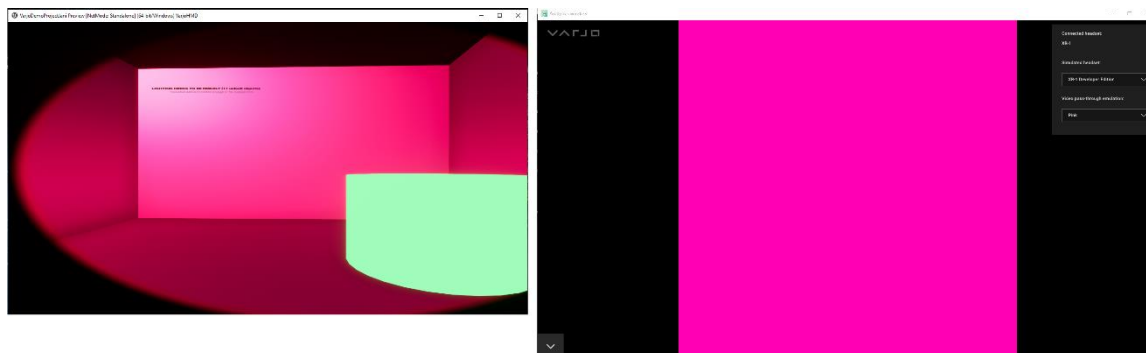
Jos lasien jäljittämisessä on ongelmia, väliaikainen ratkaisu löytyy System-välilehden alta. Tältä välilehdeltä löytyy Override origin and direction. Tällä saadaan määritettyä pelialueelle origon piste, sijainti ja lattian taso. Aluksi asetetaan lasit käyttäjän haluamaan aloituspisteeseen. Välilehden alta löytyy Override-nappula, tätä painamalla nappulan tekstiksi muuttuu Active. Välilehdeltä löytyy myös Headset elevation from floor ja sen oikealta puolelta senttimetreit, miten korkealla lasit ovat maasta. Tämä asetus jätetään 0cm, jos lasit ovat lattialla. Asetus käyttää asetettuja asetuksia pelialueen määrittämiseen SteamVR-ohjelman pelialueen sijaan. Ratkaisua ei kuitenkaan suositella käyttämään SteamVR-pelialueen sijaan. Laitteiden jäljittämisen ongelmat saadaan yleensä korjattua määrittämällä pelialue SteamVR-ohjelman kautta uudelleen tai tarkastamalla ettei mikään häiritse laitteiden jäljittämistä niiden lähellä. Käyttäjän halutessa palata SteamVR-pelialueen käyttämiseen tämä onnistuu klikkaamalla Active-nappulaa. [26.]



Kuva 5. Analytics Window.

Analytics Window on luotu ohjelmistokehittäjiä varten (Kuva 5). Täältä löytyy työkaluja, jotka auttavat kehittämään ohjelmia Varjo-laseille. Joitakin lasin ominaisuuksia pystytään simuloimaan täällä, joka auttaa tarvittaessa kehittämään ohjelmaa ilman laseja. Analytics ikkunan saa auki Varjo Base-ohjelman vasemmasta laidasta, josta löytyy Developer Tools-lista ja tämän alta Analytics Window. Tätä klikkaamalla aukeaa uusia ikkuna. Ikkunan vasemmasta alakulmasta löytyy kuvake, joka avaa työkalupalkin. Työkalupalkista löytyy kuusi eri ominaisuutta, jotka simuloivat lasien ominaisuuksia. Ensimmäinen ominaisuus simuloi, mitä laseilla näkisi. Tästä löytyy neljä vaihtoehtoa vasen silmä, oikea silmä, reuna- ja keskitetyt alueet. Toinen ominaisuus on kuvien ja videoiden tallentaminen siitä, mitä näytöllä näkyy. Katseenseuranta pystytään lisäämään videon tallentamiseen, mutta sen tallentaminen tarvitsee katseenseurannan datan ennen kuin tätä voi käyttää. Data viedään CSV-tiedostosta videoon, kun sitä tallennetaan. CSV-tiedosto sisältää aiemmin tallennetun katseen kalibrointi datan. Kolmannella ominaisuudella pystyy seuraamaan oman sovelluksen toimivuutta. Lisäksi Depth-nappulaa painamalla saadaan syvyyspuskurinäkymä päälle niille sovelluksille, jotka käyttävät sitä. Neljäs ominaisuus simuloi Varjo XR-1-lasien kameraa (Kuva 6). Kamerankuvan sijaan käytetään seuraavia tiedostoja: PNG, JPEG, BMP, BIN tai valittua väriä ohjelman vaihtoehtoista. Tässä ominaisuudessa suositellaan käyttämään 1000x1000 resoluutiolla olevaa kuvaa. Simuloinnin pystyy aloittamaan painamalla Video pass-through-nappulaa. Viidennellä ominaisuudella pystyy käyttämään lasien kahta nappulaa sekä simuloimaan lasien liikettä. Järjestelmänappulaa painamalla voidaan avata järjestelmäasetukset, kuten lasien nappulaa

painettaessa. Sovellusnappulalla pystytään käyttämään sovelluksen interaktioita. Lasien liikettä simuloidaan näppäimistön: W-, A-, S-, D-, Q-, E-näppäimillä ja hiiren liikkeillä. W liikuttaa kameraa eteenpäin ja S taaksepäin. A liikuttaa kameraa vasemmalle ja D oikealle. Q ja E liikuttaa kameraa ylös tai alas. Hiiren vasemmanpuoleista klikkiä pohjassa pitämällä ja kääntämällä hiirtä kääntää kameraa. Viimeinen ominaisuus asettaa Analytics Windowin koko ruudun kokoiseksi. [25.]



Kuva 6. Analytics windowilla kameran simulointi kuvalla.

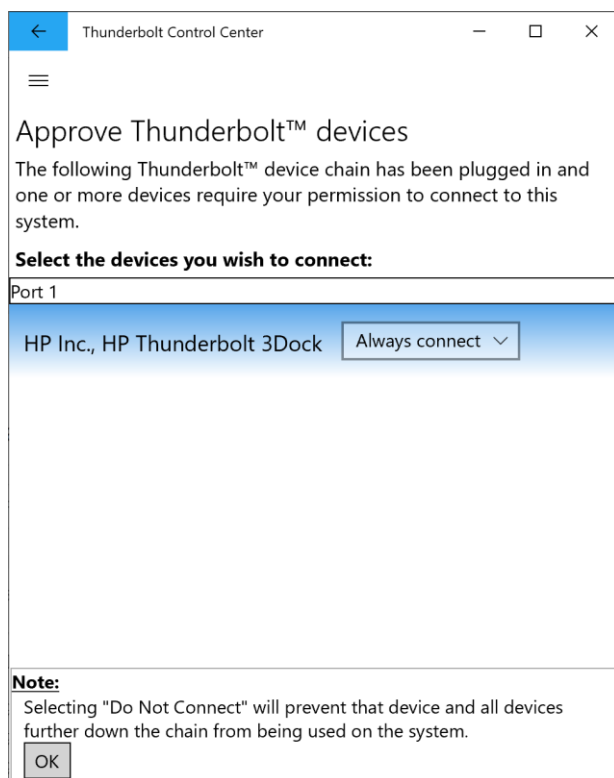
Varjo Base- ja laiteohjelman suositellaan pidettävän uusimmassa versiossa. Nämä pystytään tarkistamaan ja lataamaan ohjelman Support-välilehden alta. Käyttäjän halutessa välilehden alta löytyy automaattinen päivitysten tarkistus. Asetuksen käyttöönoton jälkeen ohjelma ilmoittaa aina, kun uusia päivityksiä on saatavilla. Päivitykset vaativat käyttäjän hyväksyntää asentaa ne. Käyttäjä voi itse myös tarkastaa päivitykset valitsemalla Varjo Base software update. Vaihtoehtoinen tapa ladata päivitykset ovat hakemalla ne Varjon verkkosivuilta. Varjo Base-ohjelman päivitys löytyy Varjon sivujen Downloads-sivulta. Laiteohjelma päivitykset löytyvät Varjon ohjelmistokehittäjä sivun Downloads-sivulta. SteamVR saattaa antaa ilmoituksen uudesta laiteohjelmasta, ilmoitus tulee sulkea. Laiteohjelmat tulee aina asentaa Varjo Base-ohjelman kautta. Varjo Base- ja laiteohjelma päivitys voidaan asentaa Support-välilehden alta olevasta Manual update kohdasta. Se avaa uuden ikkunan, josta käyttäjä pystyy hakemaan päivitykset tietokoneelta kansiota, minne ne on ladattu. [27.]

Tietokoneen käyttöjärjestelmän tulee olla Windows 10 ja 1809-versio tai uudempi. Windows 10 version pystyy tarkistamaan menemällä Windows asetuksiin, josta löytyy päivitys ja turvallisuus osio. Tämä osio avaa Windows päivitysikkunan, jonka oikeasta laidasta löytyy käyttöjärjestelmän tiedot. Täältä löytyy mikä Windows 10 versio on asennettu, jos versio ei ole 1809 tai uudempi Windows versio tulee päivittää. Windowsin pystyy päivittämään Windows päivityssivun kautta. Täältä pystyy tarkistamaan uusia päivityksiä sekä asentamaan ne. Windows päivityksien asentamisen

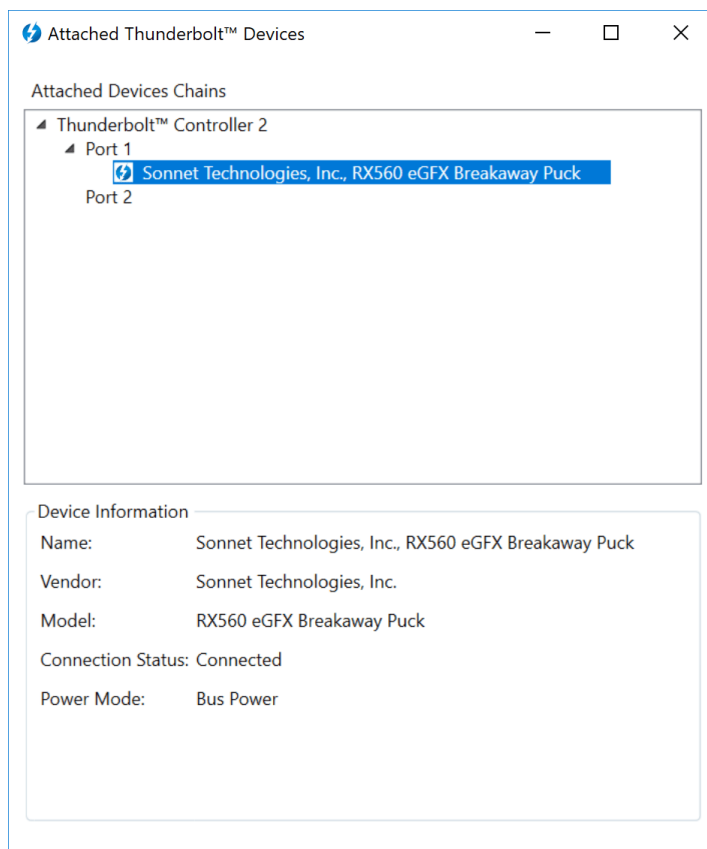
jälkeen tietokone tulee käynnistää uudelleen. Tämän jälkeen uuden Windows version ominaisuudet on otettu käyttöön. Päivityksiä tulee asentaa, kunnes Windows versio on 1809 tai uudempi. [27.]

Nvidia-näytönohjain ajurit pystytään lataamaan Nvidian-verkkosivuilta. Tällä sivulla on Drivers-välilehti, josta löytyy all nvidia drivers. Tällä sivulla kysytään mikä näytönohjain tietokoneeseen on kiinnitetty ja mitä Windows versiota tietokone käyttää. Näillä tiedoilla saadaan uusin ajuri näytönohjainta varten. Kun ajuri on ladattu tietokoneelle, se tulee asentaa. Sen jälkeen tietokone saattaa tarvita uudelleen käynnistämistä. [27.]

Thunderbolt 3-ajuri ja -ohjelma tulee asentaa tietokoneessa olevan emolevyn valmistajan sivuilta. Kuvasta 8 näkee, miltä Thunderbolt 3-ohjelma näyttää [28]. Jos tietokoneen emolevy käyttää Thunderbolt 3-laajennuskorttia, silloin ajuri ja ohjelma asennetaan kortin valmistajan sivuilta. Uusissa tietokoneissa saattaa olla valmiiksi asennettu jokin versio Thunderbolt 3-ohjelmasta, mutta tämä tulee silti asentaa uudelleen. Valmistajan sivuilta pystyy lataamaan uusimman version Thunderbolt 3-ajurista sekä -ohjelmasta. Vaihtoehtoinen ohjelma Thunderbolt 3:n käyttöön on Thunderbolt Control Center tämän saa ladattua Microsoft Storesta. Kuvasta 7 näkee, miltä Thunderbolt Control Center näyttää [28]. Ohjelma käyttää myös eri ajuri versiota Thunderbolt 3:lle. Ajuri Thunderbolt Control Centeriä varten löytyy emolevyn tai emolevylle menevän kortinvalmistajan sivuilta. Thunderbolt 3:a käytetään Varjo XR-1-laseissa olevassa kamerassa. [27.]

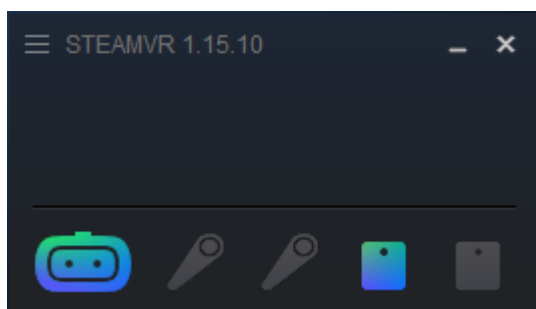


Kuva 7. Thunderbolt Control Center.



Kuva 8. Thunderbolt-ohjelma.

SteamVR-ohjelman (Kuva 9) lataamiseen tarvitsee Steamin oman työpöytäsovelluksen. Steamin pystyy lataamaan Steam-verkkosivuilta. Steam-sovelluksen käyttäminen tarvitsee käyttäjätunnuksen, jonka voi luoda Steam-sovelluksen tai verkkosivujen kautta. Steamissa hakupalkkiin kirjoittamalla SteamVR löytää uusimman version ohjelmasta. SteamVR-ohjelmaa käytetään määrittämään pelialue sekä jäljittämään laitteita pelialueella. [27.]



Kuva 9. SteamVR-ohjelma.

Ohjelma	Versio
Varjo Base	Suositellaan päivitettyintä versiota
Windows 10 käyttöjärjestelmä	v. 1809
NVIDIA GPU ajuri	445.87 tai uudempi
Thunderbolt™ ajuri	Thunderbolt™ ohjelma ja ajuri asennetaan emolevyn valmistajan sivuilta.
SteamVR	v. 1.7.15

Taulukko 2. Vaadittavat ohjelmat ja niiden versiot Varjon XR-1-lasien käyttämistä varten. [27]

### 3.4.3 Lisätarvikkeet

Varjo XR-1-laseilla on lisätarvikkeita, joista majakat ovat pakolliset. Ohjaimet sekä kuulokkeet ovat vaihtoehtoisia. Nämä tarvikkeet pitää ostaa erikseen, koska ne eivät sisälly lasien pakettiin. [27.]

Lisätarvike	Suositus	Minimi
SteamVR™ majakat 1.0 tai 2.0	4x SteamVR™ 2.0 majakat	2x SteamVR™ 2.0 tai 1.0 majakat
SteamVR™ -yhteensopivat ohjaimet	Vaihtoehtoinen	
Kuulokkeet	Vaihtoehtoinen	

Taulukko 3. Lisätarvikkeet. [27]

Jos lasien käyttäjän tulee liikkua määritetyllä pelialueella, alueen määrittämiseen suositellaan käyttämään neljää kappaletta 2.0-version majakoita. Käyttäjän pysyessä yhdessä paikassa, tähän riittää kaksi kappaletta 1.0- tai 2.0-version majakoita. [27.]

Lasit eivät tarvitse ohjaimia, mutta jotkin VR-sovellukset tarvitsevat ohjaimia. Ohjaimia voidaan käyttää sovelluksissa esimerkiksi liikkumiseen, tavaroiden käyttämiseen tai siirtämiseen. Ohjaimien tulee olla yhteensopivia majakoiden kanssa. [27.]

Laseihin pystyy kiinnittämään 3.5mm kuulokeliitainta käyttävät kuulokkeet. Jos sovellus sisältää ääniä tai musiikkia lasien käyttäjä pystyy kuuntelemaan niitä. [27.]

## 3.4.4 Majakkaversiot

Majakka versio	Yhteensopiva lisätarvikkeet(laitteen väri)
<b>2.0(suosittelaa)</b>	VIVE ohjaimet (sininen)
	VIVE jäljittimet (sininen)
	Valve osoitin "Knuckles" ohjaimet
<b>1.0</b>	VIVE ohjaimet (Musta)
	VIVE jäljittimet (Musta)
	VIVE ohjaimet (sininen)
	VIVE jäljittimet (sininen)
	Valve osoitin "Knuckles" ohjaimet

Taulukko 4. Majakkaversiot ja niihin yhteensopivat lisätarvikkeet.

Majakka 2.0-version kanssa yhteensopivia lisätarvikkeita ovat siniset Vive-ohjaimet ja -jäljittimet.

Majakka 1.0-version kanssa mustat ja siniset VIVE-ohjaimet ja -jäljittimet ovat yhteensopivia.

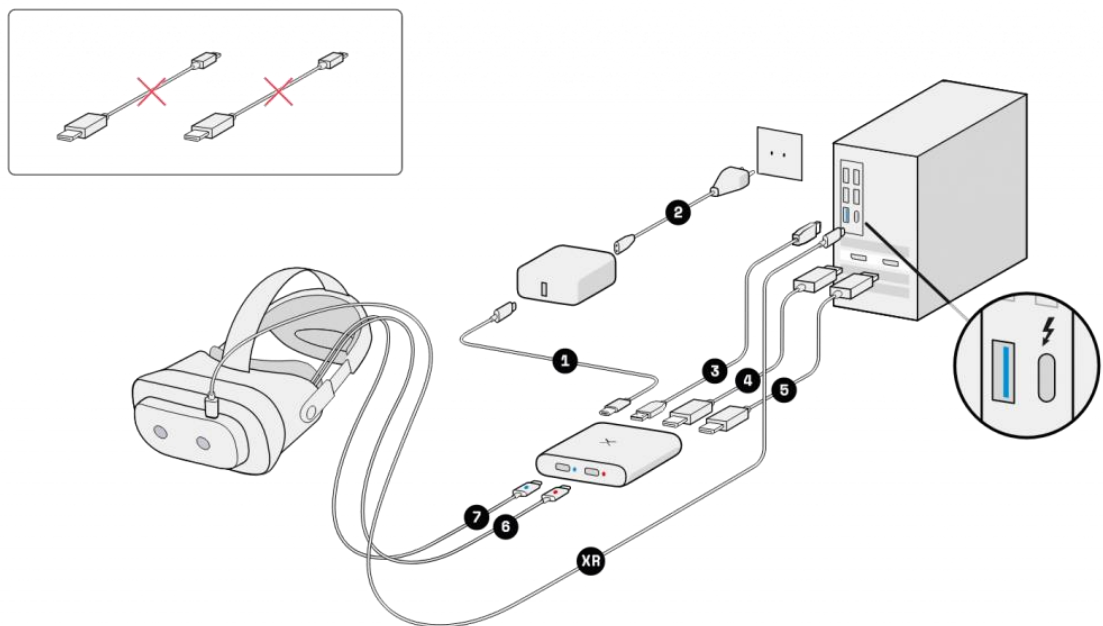
Valve-osotinohjaimet ovat yhteensopivat 1.0 ja 2.0 majakkaversioiden kanssa (Taulukko 4). [27.]

## 4 Varjo XR-1-lasien käyttäminen

Tässä luvussa kerrotaan, miten Varjo XR-1-lasit asennetaan pöytäkoneeseen, mitä laite tarvitsee toimiakseen ja mitä ohjelmia tulee ladata. Tutkitaan myös, miten näitä lasia voidaan hyödyntää Unreal Engine-projektissa.

### 4.1 XR-1-lasien käyttöönottoaminen

Varjo XR-1-lasien mukana tulee link box, virtalähde, kolme virtajohtoa, tavallinen kasvomaski, puhdistusliina, yksi kappale USB-C-johto, yksi kappale USB-A-johto, kaksi kappaletta DP-DP-johdtoa, kaksi kappaletta DP-mini DP-johdtoa sekä käyttöohjeet [29].



Kuva 10. Varjo XR-1 johdotusohjeet pöytäkoneeseen.

Johto 1 kiinnitetään link boxin ja virtalähteen välille. Johto 2 virtajohto kiinnitetään virtalähteen, josta se kiinnitetään seinän pistorasiaan. Johto 3 USB-A-johto kiinnitetään link boxin ja pöytäkoneen USB-porttiin. Johto 4 ja 5, ovat Displayport-johdot. Nämä johdot menevät link boxista näytönohjaimeen oleviin Display-portteihin. Johto 6 on punainen johto, joka menee lasista link boxiin. Johto 7 on sininen johto, joka menee lasista link boxiin. Johto XR on USB-C-johto, joka

kiinnitetään lasien edessä olevaan kameraan ja siitä pöytäkoneen emolevyille Thunderbolt 3-porttiin. Vaihtoehtoiset tavat kiinnittää USB-C-johto emolevyyn tai Thunderbolt 3-korttiin, jos emolevy tukee sitä. Kuvassa 10 lasien johdotusohjeet. [30.]

Huoneentilan ja Varjo-lasien jäljittämiseen käytettiin kahta kappaletta SteamVR-majakoita. Tällä saadaan tarkka sijainti lasien sijainnista huoneessa. Majakat jäljittävät lasien reaali maailman liikkeitä ja näitä pystytään hyödyntämään Unreal Enginen virtuaaliympäristössä. SteamVR-majakat tarvitsevat tietokoneelle SteamVR-ohjelman, jotta ne pystyvät jäljittämään Varjo-laseja. [31.]

Huoneen pelialue tulee olla mahdollisimman tyhjä, ettei lasien käyttäjä törmäile tai kaadu mihinkään. Myös heijastavat pinnat voivat vaikuttaa lasien jäljittämisessä. [31.]



Kuva 11. Majakoiden sijainnit huoneessa.

Kuvassa 11 näkyy, miten majakat tulee sijoittaa pelialueen nurkasta vastakkaiseen nurkkaan. Majakoiden tulee olla vähintään yksi ja puoli metriä toisistaan sekä Varjo-laseista. Mutta Majakoita ei kumminkaan suositella asettamasta viittä metriä pidemmälle toisistaan. Ne tulee nostaa kahden metrin korkeuteen lattian rajasta. Tämän lisäksi ne tulee asettaa 30-45 asteen kulmaan alas päin. Majakoiden tulisi koko ajan olla kohdistettu lasihin päin. Kun majakat ovat paikallaan niihin voi kiinnittää virtajohdon, joka menee seinän pistorasiaan. Niillä on 16 kanavaa ja kanavia asettaessa, jokaisella majakalla tulisi olla oma kanava. Kanavia pystytään vaihtamaan takana olevasta Mode-nappulasta. Jokainen nappulan painallus vaihtaa kanavaa seuraavaan. Varjo Base-ohjelmasta pystyy seuraamaan, mikä kanava on asetettu millekin majakalle. [31.]

Varjo Base-ohjelman oikeasta ylänurkasta pystyy myös seuraamaan, mitä laitteita on yhdistetty. Siellä tulisi näkyä ainakin kaksi majakkaa ja Varjo-lasit. Lopuksi tulee asettaa pelialue. Ohjelmasta löytyy System-välilehti ja siellä on SteamVR room setup. Tämä käynnistää SteamVR-ohjelman, jos

sitä ei ole vielä käynnistetty. SteamVR-ohjelmasta menun alta löytyy Room setup. Tätä klikkaamalla alkaa pelialueen määrittäminen. SteamVR-ohjelman ohjeita seuraamalla pelialueen määrittäminen pitäisi olla helppoa asettaa. Pelialueen asettamisen jälkeen Varjo Base-ohjelmasta tulee painaa Done, jonka jälkeen sen tulisi toimia. [31.]

#### 4.2 Unreal Engine 4 pelimoottorin käyttäminen XR-1-lasien kanssa

Varjolla on verkkosivut ohjelmistokehittäjiä varten, jossa on ohjeita ja esimerkkejä. Verkkosivuilla on ohjeita ja esimerkkejä, miten laseja käytetään Native SDK:lla, Unityllä, Unreal Enginellä sekä OpenXRllä. Unreal Engine 4 Varjo VR-projektin aloittaessa tulee asentaa SteamVR, Varjo Base ja Unreal Engine. SteamVR-ohjelma ladataan Steamin verkkosivustolta ja Varjo Base Varjon ohjelmistokehittäjä verkkosivustolta. Ohjelmat asennetaan, kun ne ovat ladattu. Unreal Enginen asentamiseen tarvitaan Epic Games-ohjelma, joka ladataan Epic Gamesin verkkokaupasta ja tämä asennetaan latauksen jälkeen. Ohjelma avataan asentamisen jälkeen ja Unreal Engine-välilehdeltä ladataan Unreal Engine-pelimoottori. [32.]

Unreal Engine tarvitsee Varjo-liitännäisen, joka ladataan Varjon verkkosivulta. Tällä sivulla on liitännäinen 4.21-4.25 Unreal Engine versioille. Tiedoston ladattua se tulee purkaa paketista ja siirtää Unreal Engine-projektin juuressa olevaan Plugins-kansioon. [40.]

Ohjelmien asentamisen jälkeen voidaan käynnistää Unreal Engine-pelimoottori Epic Games-ohjelman kirjastovälilehdeltä painamalla Launch-painiketta. Pelimoottorin käynnistyttyä luodaan uusi projekti ja valitaan tyhjä Blueprint-projekti. Projekti aukeaa tämän jälkeen. [32.]

Seuraavaksi tulee laittaa pelimoottorin liitännäiset kuntoon. Ensimmäiseksi Edit-välilehdeltä löytyy Plugins, jossa on vaihtoehto Installed ja sen alta Virtual Reality. Varjon-liitännäinen pitäisi näkyä vaihtoehtona. Varjon-liitännäinen laitetaan päälle laittamalla ruksi Enable-ruutuun ja tämä vaatii pelimoottorin uudelleen käynnistämistä painamalla Restart Now-painiketta oikeasta alakulmasta. Built-In alta valitaan Virtual Reality, josta löytyy SteamVR-liitännäinen. Tämä pitää ottaa pois päältä, ottamalla ruksi pois Enable ruudusta. Pelimoottori käynnistetään uudestaan tämän jälkeen painamalla Restart Now painiketta oikeasta alakulmasta. Viimeiseksi Edit-välilehdeltä valitaan Project Settings, joka avaa projektin asetukset. Settings kohdasta laitetaan ruksi Start in VR-ruutuun. [32.]

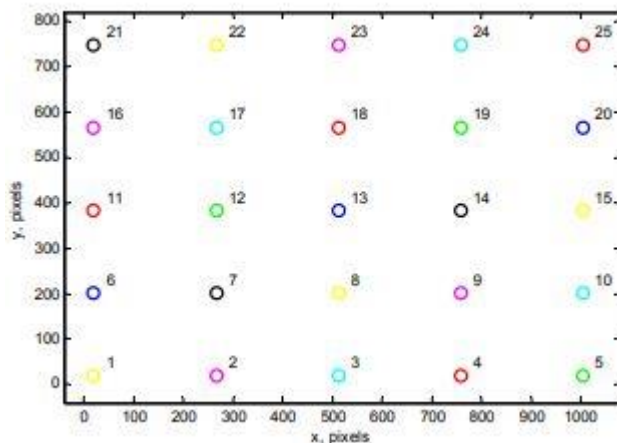
Lopuksi pelimoottorin Play-nappulan vierestä löytyy nuoli alaspäin, josta klikkaamalla aukeaa vaihtoehtot, miten projektia haluaa kokeilla. Tämä asetetaan VR Preview vaihtoehtoon, jotta projektia voidaan kokeilla Varjo-laseilla. [32.]

Varjon ohjelmistokehittäjä verkkosivulta löytyy linkki Varjon Github-verkkosivulle, josta pystyy lataamaan esimerkki projektin Unreal Engineille. Ladattu kansio avataan ja sen sisältä löytyy VarjoSample kansio, jonka sisältä löytyy VarjoSample.uproject-tiedosto. Sitä klikkaamalla oikealla hiiren painikkeella aukeaa valikko, jossa on vaihtoehto Switch Unreal Engine version. Tämä vaihtaa ja rakentaa projektin pelimoottoriversioon, joka on asennettu tietokoneelle. [33.]

Tässä projektissa on materiaaleja ja blueprinttejä, joilla pystyy kokeilemaan lasien ominaisuuksia pelimoottorissa. Nämä pystytään siirtämään omaan projektiin ja muokkaamaan ne sellaisiksi, kun kehittäjä itse haluaa. Siirtäminen tehdään pelimoottorissa valitsemalla tiedostot, mitä tarvitaan ja klikkaamalla hiiren oikean puolimmaista painiketta. Seuraavaksi aukeaa valikko, missä on vaihtoehtona Asset Actions ja tämän sisältä löytyy Migrate. Migratea klikkaamalla aukeaa lista, mitä ollaan siirtämässä ja tässä tilanteessa klikataan ok-nappulaa. Tämän jälkeen aukeaa uusi ikkuna, jossa haetaan oman projektin sijainti ja mihin kansioon tiedostot siirretään. Kun tämä on tehty, tiedostot pitäisi olla omassa projektissa. [34.]

#### 4.2.1 Katseenseuranta

Katseenseuranta Varjo XR-1-laseilla vaatii katseenseurannan kalibroinnin, joka kerta, kun sitä käytetään. Kalibroinnissa katsotaan X- ja Y-koordinaatistossa eripisteitä yhtä pistettä kerrallaan tietyn aikaa.

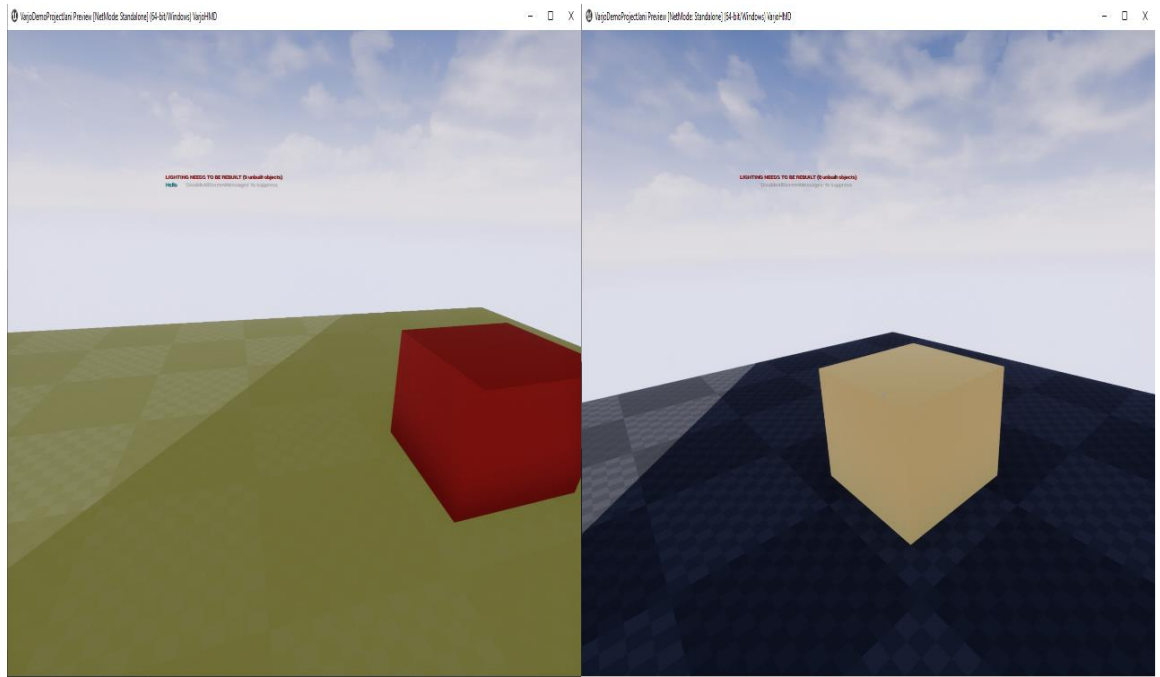


Kuva 12. Katseenseurannan kalibrointi pisteet

Kuvan 12 esimerkissä on käytetty 25:ä eri pistettä, jotka näkyvät yksi kerrallaan satunnaisessa järjestyksessä. Yhtä pistettä tuijotetaan kahden sekunnin verran, jolloin se katoaa ja seuraava piste ilmestyy. Tällä saadaan riittävä kalibrointi data, jonka keräämiseen kokeiltiin viittä eri tekniikkaa. Ensimmäisessä tekniikassa käytettiin lineaarista kalibrointi mallia, jossa käytettiin 5 eri kalibrointi pistettä. Toisessa tekniikassa käytettiin toisen asteen polynomi kalibrointi mallia, sekä 9 eri kalibrointi pistettä. Kolmas tekniikka on samanlainen kuin toinen, mutta 9 pisteen sijaan vertailtiin 25 eri pistettä. Neljännessä tekniikassa interpoloitiin 25 eri pistettä. Viimeisessä tekniikassa 25 kalibrointi pisteiden kantaluvi kartoitetaan. [35, s. 2.] Näistä tekniikoista tarkimmaksi todettiin viides ja kolmas tekniikka. Näiden kahden tekniikan välillä ei ollut isoa eroa. Kolmas tekniikka ei salli suuria pään liikkeitä kalibroinnin aikana, toisin kuin viides tekniikka sallii tämän. [35, s. 4.]

Katseenseurannan kalibrointi aloitetaan laittamalla Varjon XR-1-lasit päähän. Lasien päällä vasemmalla puolella on nappula, joka aloittaa kalibroinnin. Vaihtoehtoinen tapa aloittaa kalibrointi on Varjo Base-ohjelman kautta. Ohjelmassa on työkaluvalikko vasemmalla ohjelman käyttöliittymässä, jossa on vaihtoehto katseenseurannan kalibrointi. Lasien päästä ottaminen tyhjentää datan ja kalibrointi pitää tehdä uudelleen. Tässä kalibroinnissa katsotaan yhtä pistettä parin sekunnin ajan, kunnes se katoaa ja uusi piste ilmestyy toiseen koordinaattiin. Pisteitä ilmestyy uudelleen, kunnes kalibrointi on tehty onnistuneesti. Tämän jälkeen Unreal Engine-projektissa näkyy piste, joka liikkuu siihen pisteeseen, mihin lasien käyttäjä katsoo.

Demo-projektissa käytettiin katseenseurantaa hyödyntämällä Varjon esimerkki Blueprinttejä ja niiden avulla tehtiin seuraavia ominaisuuksia. Esineet mille on annettu Blueprintti, alkavat hohtamaan pelaajan katsoessa niitä (Kuva 13). Esineitä voi siirtää X- ja Y-koordinaatistossa, kun pelaaja katsoo esinettä ja painaa G-näppäintä. Esineen korkeutta pystyy säätämään, katsomalla sitä ja painamalla H-näppäintä. Esine voidaan valita kopiotavaksi katsomalla sitä ja painamalla N-näppäintä. Kopioitava esine voidaan lisätä pelialueelle katsomalla kohtaa, mihin se halutaan lisätä ja painamalla V-näppäintä. Esineitä pystyy myös poistamaan katsomalla poistettavaa esinettä ja painamalla B-näppäintä.



Kuva 13. esineet alkavat hohtamaan, kun niitä katsotaan.

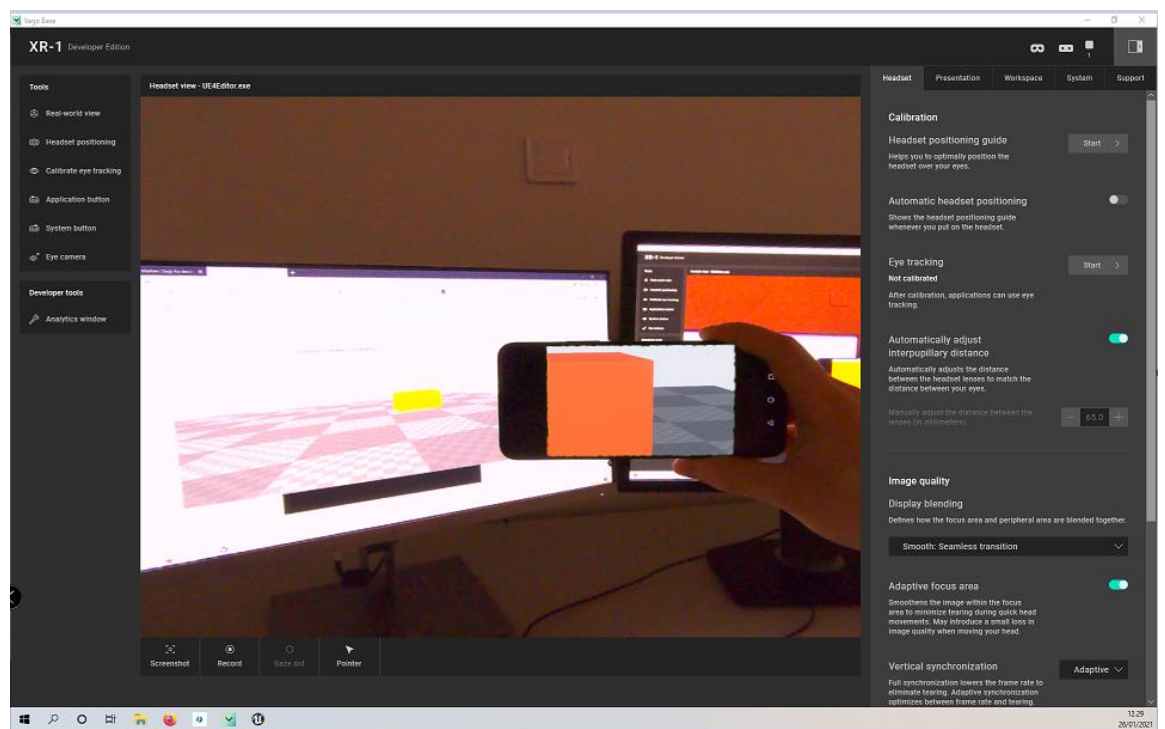
#### 4.2.2 Sekoitettun todellisuuden käyttäminen

Varjo XR-1-lasit käyttävät vihreää väriä sekoittamaan VR:ää ja reaailmaailmaa. Tähän olisi hyvä käyttää haluamaansa kokoista vihreää kangasta (kuva 14) [41], mutta tässä projektissa käytettiin älypuhelimien näytöllä vihreää väriä. Projektissa näppäimistöä painettaessa C-näppäintä projekti siirtyy kameran videokuvaan. Katsoessa vihreää väriä kameran videokuva tilassa, pystytään tätä kautta näkemään VR:ään vihreästä väristä (Kuva 15).



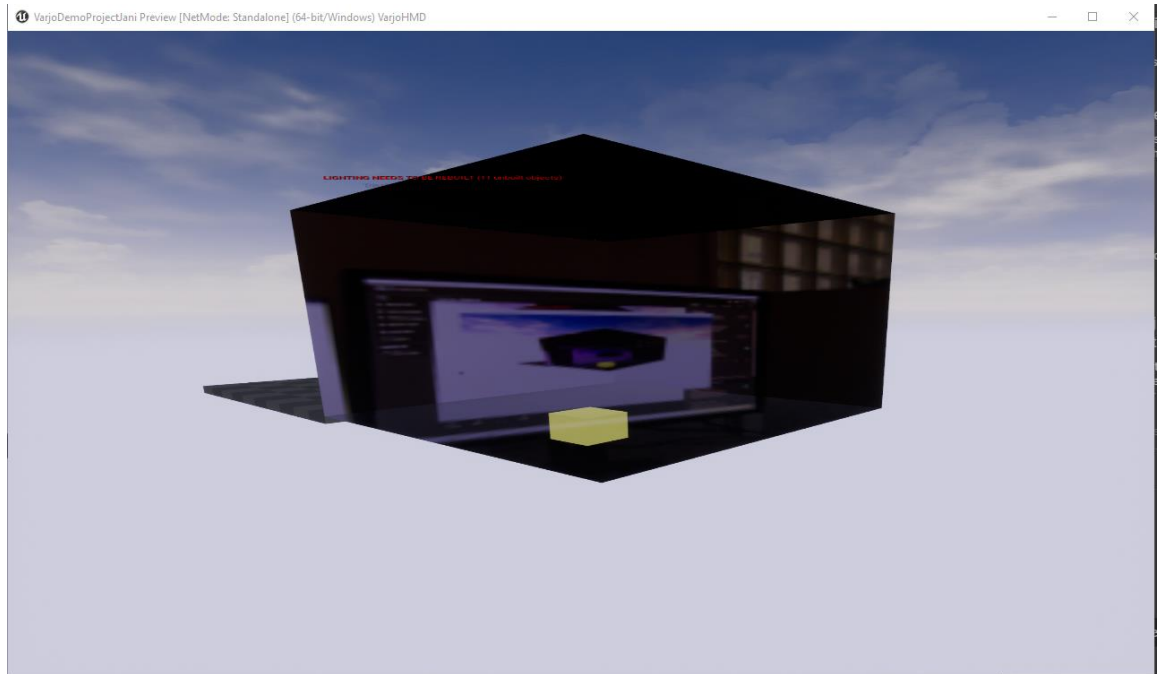
Kuva 14. Projektissa käytettiin vihreän kankaan kuvaa, jota pidettiin älypuhelimien näytöllä.

Tällä voidaan simuloida esimerkiksi auton ajamista. Simuloinnissa nähdään kaikki, mitä vihreän kankaan päälle on asetettu [36]. Auton ajamisen simuloimisessa saadaan näkymään kuski eli pelaaja sekä tarvittavat fyysiset ohjaimet esimerkiksi ratti. Pelaaja ja ratti saadaan näkyviin VR:ssä olevan auton sisään. Ratilla voidaan ohjata VR:ssä olevaa autoa.

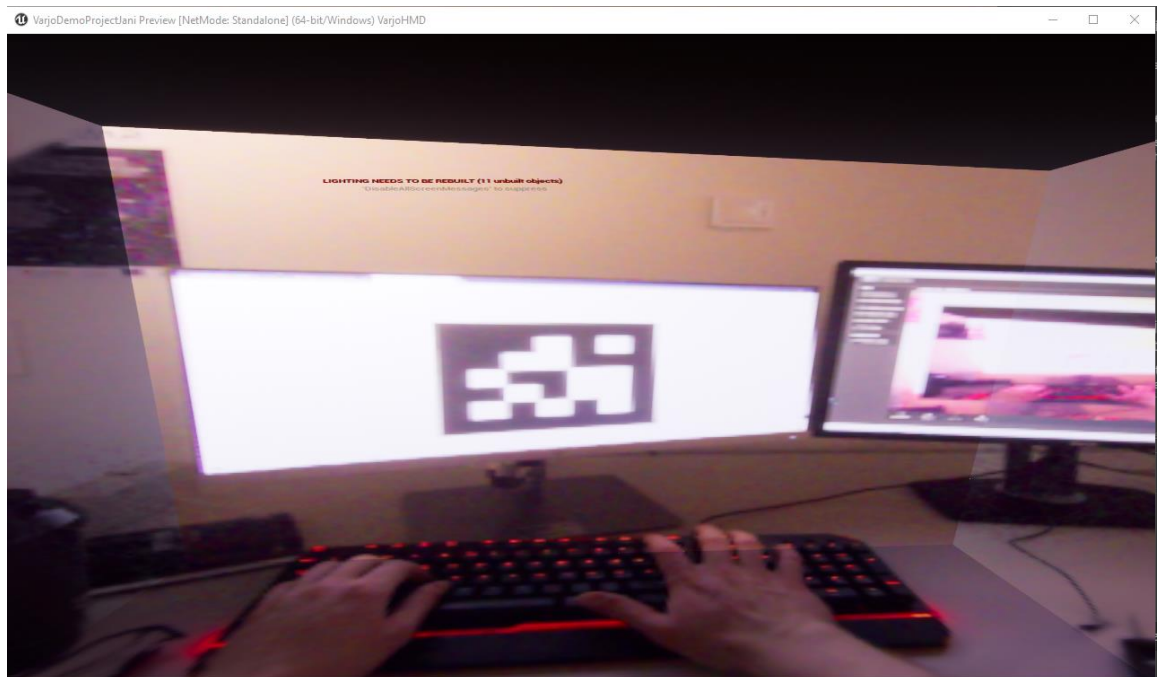


Kuva 15. Älypuhelimien ruutu on täytetty vihreällä kuvalla, josta voi katsoa VR:ään.

Kameran videokuva voidaan myös lisätä erilaisiin pintoihin materiaalina, jolloin saadaan lisättyä VR:ään reaali maailmasta videokuvaa (Kuva 16) (Kuva 17). Tämän asetuksia pystytään muokkaamaan Unreal Enginen Blueprintsissä. Videokuvasta on myös materiaali, joka lisää pintaan videokuvan peilikuvana.



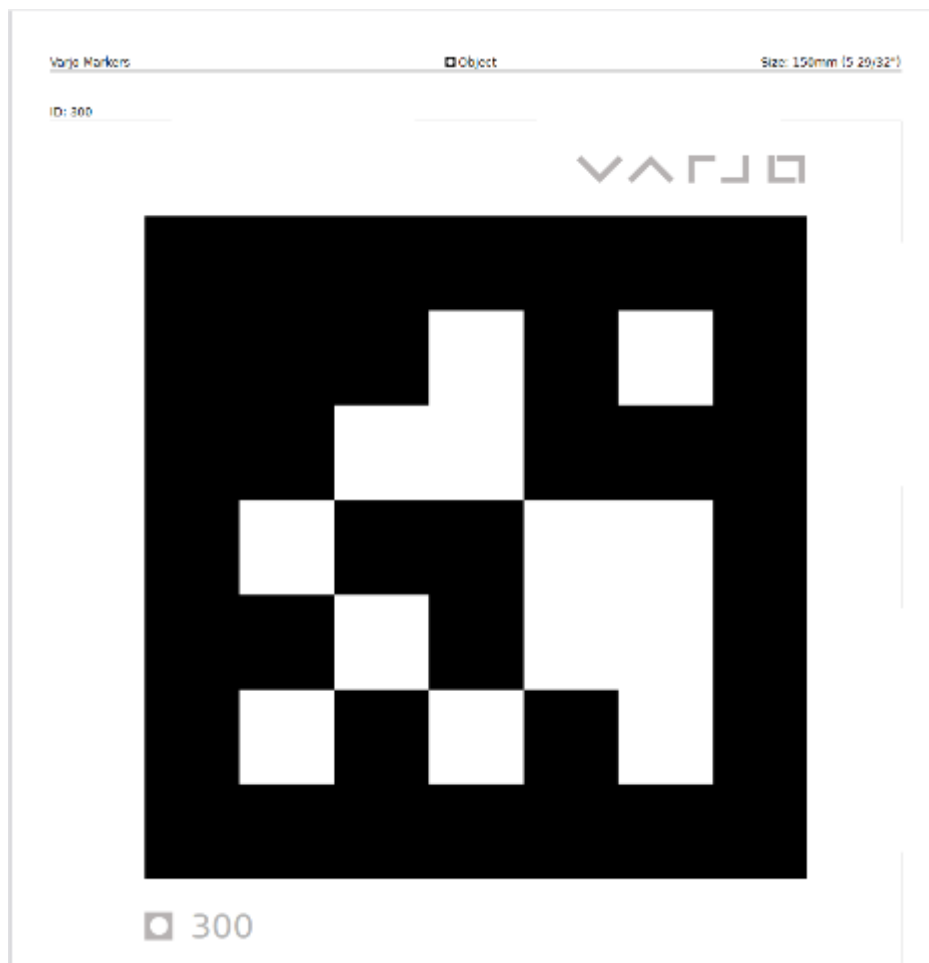
Kuva 16. Tasoon on laitettu materiaali, jossa on Varjo XR-1-lasien kameran suoraa videokuvaa.



Kuva 17. Sama taso kameran videokuvasta mutta läheltä.

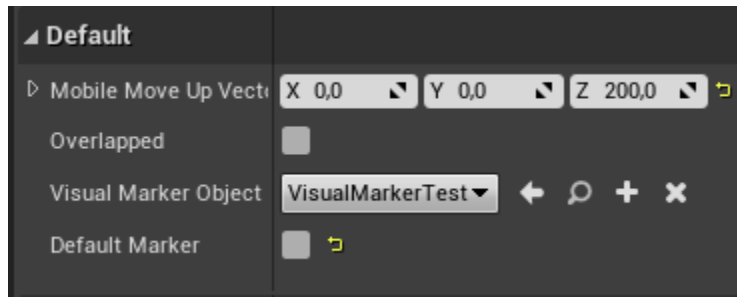
#### 4.2.3 Varjo-merkki

Varjo-merkkejä on kolme eri kokoista (Kuva 18) [42, s. 1]. Merkki tulostetaan ja asetetaan reaali-maailmassa siihen kohtaan, kun virtuaalisen esineen halutaan ilmestyvän. Varjon verkkosivuilta löytyy tulostusohjeet, jotta merkin pystyy tunnistamaan. Merkki tulee asettaa tasaiselle tasolle ja paikkaan, missä ei ole heijastavia pintoja. Merkin jäljitystä voidaan parantaa, kun niitä on enemmän kuin yksi ja mitä isompi se on. [37.]



Kuva 18. Varjo-merkki.

Merkit lisättiin näkymään VR:ssä. T-näppäintä painettaessa Blueprint-funktio World Enable Visual Markers vaihtelee toden ja epätoden tilan välillä. Tämä tila asettaa merkit näkyviin tai pois näkyvistä.

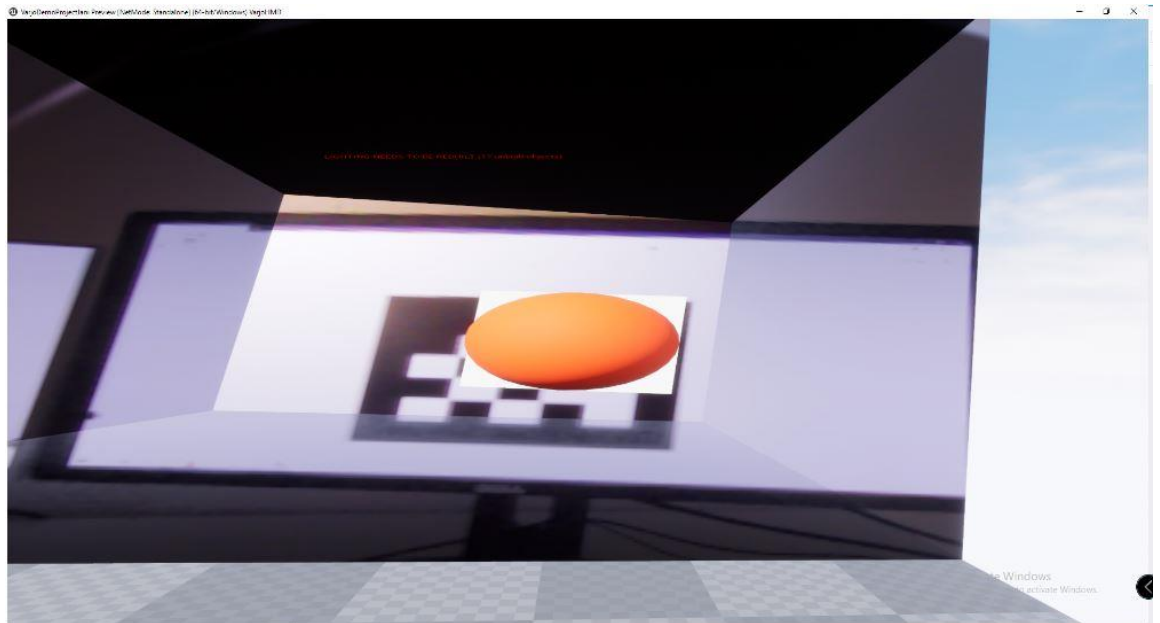


Kuva 19. Varjo-merkki asetukset.

Merkeille toteutettiin asetukset (Kuva 19), joissa voidaan vaihtaa oletusmerkin (Kuva 20) ja oman merkin välillä. Asetuksissa voidaan vaihtaa haluamansa merkki, jota haluaa käyttää (Kuva 21).



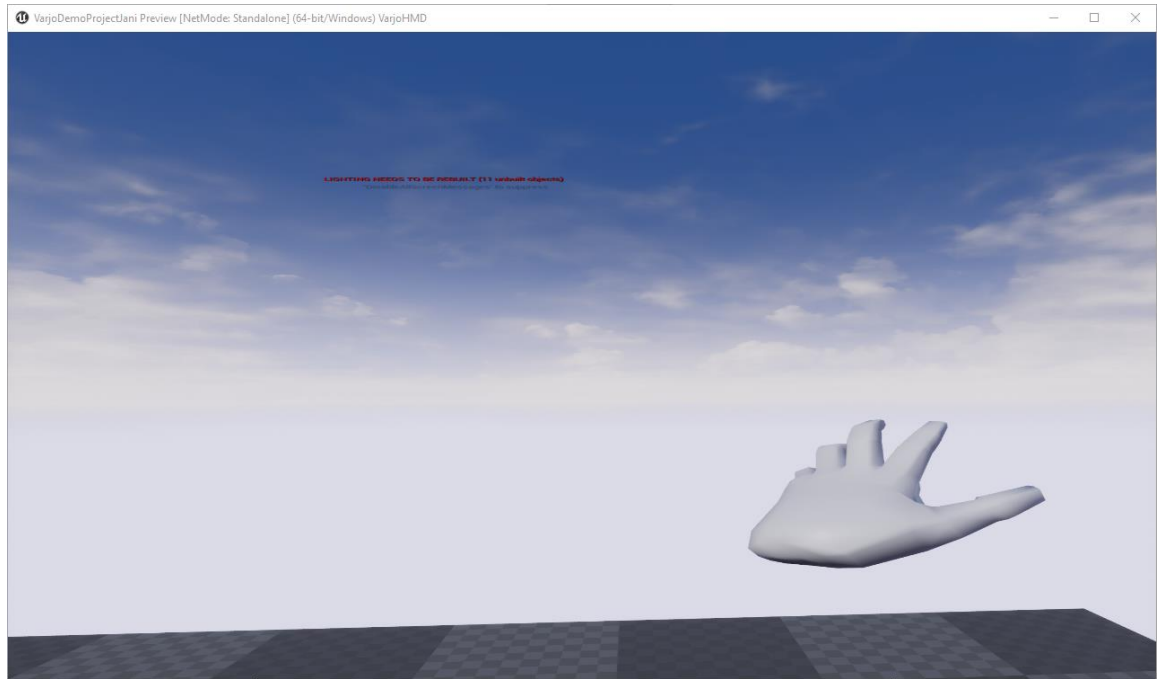
Kuva 20. Varjo-oletusmerkki.



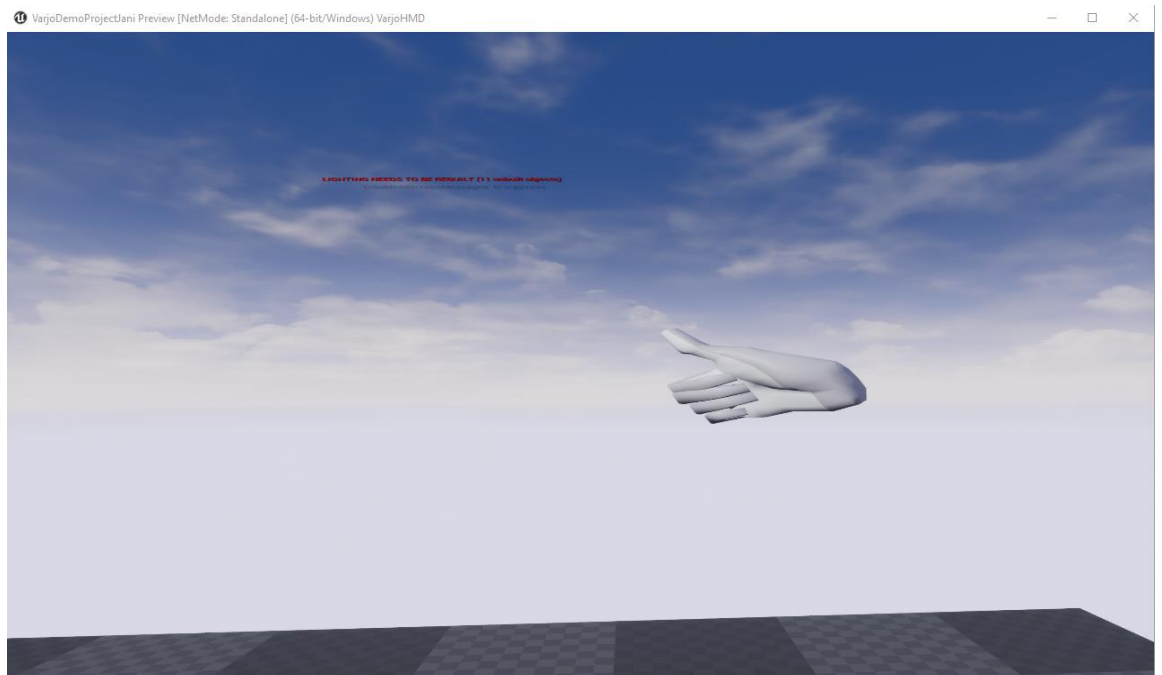
Kuva 21. Oma muokattu merkki.

#### 4.2.4 Leap Motion-kädet

Lopuksi lisättiin Ultraleapin Leap Motion-kädet. Leap Motion jäljittää oikean ja vasemman käden (Kuva 22), sekä niiden sormien liikkeitä (Kuva 23) [38]. Leap Motionin käyttäminen vaatii tuoreimman version ajurista, jonka pystyy lataamaan heidän verkkosivultaan. Varjon Githubista löytyy Leap Motion-liitännäinen, josta on poistettu komponentteja, mitä ei tarvita Varjo-lasien kanssa. Liitännäisen ladattua se tulee purkaa paketista ja viedä projektin juureen. [39.] Liitännäisen pitäisi toimii suoraan Unreal Enginen avauduttua, mutta jos se ei toimi suoraan. Se voidaan lisätä mukautettuna liitännäisenä pelimoottoriin. Mukautetun liitännäisen pystyy lisäämään pelimoottorin Edit-välilehdeltä, josta löytyy Plugins. Sitä klikkaamalla aukeaa uusi ikkuna, jonka oikeasta alakulmasta löytyy New Plugin. Täältä pystytään lisäämään liitännäinen, joka haetaan projektin juuresta. Liitännäisen toimiessa voidaan laittaa Leap Motion-kädet käyttöön. Käsien Blueprint-funktiot lisätään pelaajan Blueprinttiin ja pelaaja tulee sijoittaa maantasolle.



Kuva 22. Ultraleap käsiensuranta seuraa vasemman käden liikkeitä.



Kuva 23. Tästä kuvasta näkee miten tarkkaan käsiensuranta seuraa oikean kättä ja sen sormia.

Leap Motionin Unreal Engine-liitännäisessä on kaksi tapahtumaa molemmille käsille, jotka ovat nipistys- ja tarrautumisliike. Projektissa tarrautumisotteella voidaan ottaa kiinni virtuaalimaailmassa olevista esineistä ja niitä voidaan siirtää. Nipistysliikkeen vapautuessa voidaan työntää virtuaalimaailman esineitä eteenpäin siihen suuntaan, mihin niitä ollaan työntämässä.

## 5 Yhteenveto ja pohdinta

Tällä hetkellä Varjo XR-1-lasit ovat tarkoitettu ohjelmistokehittäjien käyttöön. Lasit tarvitsevat tehokkaan tietokoneen, jossa on Thunderbolt 3-portti. Thunderbolt 3-liitännän saaminen toimimaan tietokoneen ja lasien välillä saattaa olla kovan työn takana. Lisäksi toisinaan kortit saattavat kadottaa yhteyden tietokoneeseen, vaikka ne olisivatkin yhdistetty oikein. Tämä tapahtui Asus ThunderboltEX 3-laajennuskortin kanssa, joka vaihdettiin ThunderboltEX 3-tr-laajennuskorttiin. ThunderboltEX 3-tr-laajennuskortilla ei ollut ongelmia. Lisäksi lasien hinta on 8 495€ ja Varjo-ohjelman 1 695€, joka voi olla liikaa peruskuluttajan budjettiin.

Varjo-liitännäisen avulla Varjo-lasien ominaisuudet on helppo ottaa käyttöön Unreal Engine-pelimoottorissa. Ominaisuuksien käyttäminen on helppoa ja yksinkertaista Unreal Enginen Blueprinteilla. Ainoa ominaisuus, jota en saanut toimimaan opinnäytetyötä tehdessä oli Varjon-merkki ominaisuus lisätyssä todellisuudessa. Tämä ominaisuus kaatui Windowsin omiin kooditiedostoihin Unreal Enginen kanssa. Varjo-merkkien pitäisi kumminkin toimia lisätyssä todellisuudessa Unity-pelimoottorissa ja muissa c++-projekteissa.

Varjo julkaisi uuden version lasista Varjo XR-3, jossa on kehitetty lasien ominaisuuksia pidemmälle ja paremmaksi. Lasien hinta on 5495€ ja tämän lisäksi yhden vuoden Varjo XR-jäsenmaksu 1495€. Varjo-jäsenmaksu vaaditaan, jotta voidaan ladata Varjo XR-3-ohjelma lasia varten. Tulevaisuus näyttää miten Varjon lasit tulevat kehittymään tästä pidemmälle ja hintakin saattaa olla peruskuluttajalle ystävällisempi.

## Lähteet

1. Ville Jussila. Virtuaali. Haettu: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/120676/Jussila\\_Ville.pdf](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/120676/Jussila_Ville.pdf).viitattu 21.3.2021.
2. Juuso Karhu. Lisätty todellisuus. Haettu: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/69077/Karhu\\_Juuso.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/69077/Karhu_Juuso.pdf?sequence=1).viitattu 22.3.2021.
3. Pyry Ukkonen. Teollinen internet ja lisätty todellisuus: mahdollisuudet ja näkymät laivateknikassa. Haettu: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/130048/Ukkonen%20Pyry.pdf?sequence=1>.viitattu 23.3.2021.
4. Varjo. Haettu: <https://varjo.com/use-center/get-to-know-your-headset/varjo-workspace/>.viitattu 28.12.2020.
5. Varjo. Haettu: <https://varjo.com/blog/introducing-a-dimensional-interface-varjo-workspace/>.viitattu 28.12.2020.
6. Unity Technologies. Haettu: <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>.viitattu 11.1.2021.
7. Unity Technologies. Haettu: <https://docs.unity3d.com/Manual/GameObjects.html>.viitattu 11.1.2021.
8. Unity Technologies. Haettu: <https://docs.unity3d.com/Manual/CreatingScenes.html>.viitattu 11.1.2021.
9. Unity Technologies. Haettu: <https://unity3d.com/learning-c-sharp-in-unity-for-beginners>.viitattu 11.1.2021.
10. Unity Technologies. Haettu: <https://docs.unity3d.com/Manual/XR.html>.viitattu 11.1.2021.
11. Epic Games. Haettu: <https://docs.unrealengine.com/en-US/BuildingWorlds/VRMode/index.html>.viitattu 12.1.2021.
12. Epic Games. Haettu: <https://docs.unrealengine.com/en-US/ProgrammingAndScripting/ProgrammingWithCPP/index.html>.viitattu 12.1.2021.

13. Epic Games. Haettu: <https://docs.unrealengine.com/en-US/ProductionPipelines/DevelopmentSetup/VisualStudioSetup/index.html>.viitattu 12.1.2021.
14. Epic Games. Haettu: <https://docs.unrealengine.com/en-US/ProgrammingAndScripting/Blueprints/GettingStarted/index.html>.viitattu 12.1.2021.
15. Epic Games. Haettu: <https://docs.unrealengine.com/en-US/SharingAndReleasing/XRDevelopment/index.html>.viitattu 12.1.2021.
16. Khronos. Haettu: <https://www.khronos.org/registry/OpenXR/specs/1.0/pdf/xr-spec.pdf>.viitattu 13.1.2021.
17. Varjo. Haettu: <https://varjo.com/blog/prepar3d-adds-support-for-varjos-xr-1-virtual-and-mixed-reality-are-going-to-be-critical-for-our-next-generation-of-trainers/>.viitattu 14.1.2021.
18. Prepar3d. Haettu: <https://www.prepar3d.com/prepar3d-store/>.viitattu 14.1.2021.
19. Varjo. Haettu: <https://varjo.com/product-updates/techviz/>.viitattu 14.1.2021.
20. Techviz. Haettu: <https://www.techviz.net/vr-software-for-your-project-reviews>.viitattu 14.1.2021.
21. Varjo. Haettu: <https://varjo.com/blog/introducing-bionic-display-how-varjo-delivers-human-eye-resolution/>.viitattu 25.12.2020.
22. Varjo. Haettu: <https://developer.varjo.com/docs/get-started/eye-tracking-with-varjo-headset>.viitattu 25.12.2020.
23. Varjo. Haettu: [https://www.symetri.com/media/2473/varjo\\_productbook\\_2020\\_web-1.pdf](https://www.symetri.com/media/2473/varjo_productbook_2020_web-1.pdf).viitattu 25.12.2020.
24. Varjo. Haettu: <https://varjo.com/use-center/getting-started/system-requirements/recommended-computers/>.viitattu 18.12.2020.
25. Varjo. Haettu: <https://developer.varjo.com/docs/get-started/developer-tools-in-varjo-base>.viitattu 16.12.2020.
26. Varjo. Haettu: <https://varjo.com/use-center/get-to-know-your-headset/using-varjo-base/>.viitattu 15.12.2020.

27. Varjo. Haettu: <https://varjo.com/use-center/getting-started/system-requirements/#xr-1-computers>.viitattu 14.12.2020.
28. Egpu. Haettu: <https://egpu.io/forums/pc-setup/thunderbolt-control-center-vs-intel-thunderbolt-software/>.viitattu 14.12.2020.
29. Varjo. Haettu: <https://varjo.com/use-center/get-to-know-your-headset/care-and-maintenance/#in-the-box-xr-1-vr>.viitattu 10.12.2020.
30. Varjo. Haettu: <https://varjo.com/use-center/getting-started/connecting-xr-1/cabling-options/>.viitattu 10.12.2020.
31. Varjo. Haettu: <https://varjo.com/use-center/get-started/setting-up-tracking/steamvr-tracking/>.viitattu 3.12.2020.
32. Varjo. Haettu: <https://developer.varjo.com/docs/v2.5.0/unreal/quick-start>.viitattu 26.11.2020.
33. Varjo. Haettu: <https://developer.varjo.com/docs/unreal/unreal-examples>.viitattu 19.11.2020.
34. Epic games. Haettu: <https://docs.unrealengine.com/en-US/Engine/Content/Browser/UserGuide/Migrate/index.html>.viitattu 19.11.2020.
35. N.Ramanauskas. Calibration of video-Oculographical Eye-Tracking System. Electronics and electrical engineering. Haettu: <https://eejournal.ktu.lt/index.php/elt/article/view/10791>.viitattu 12.11.2020.
36. Varjo. Haettu: <https://developer.varjo.com/docs/get-started/chroma-key>.viitattu 5.11.2020.
37. Varjo. Haettu: <https://developer.varjo.com/docs/get-started/varjo-markers#printing-varjo-markers>.viitattu 25.3.2021.
38. Varjo. Haettu: <https://developer.varjo.com/docs/v2.5.0/unreal/hand-tracking-with-varjo-headset>.viitattu 13.1.2021.
39. Ultraleap. Haettu: <https://github.com/leapmotion/LeapUnreal>.viitattu 13.1.2021.

40. Varjo. Haettu: <https://developer.varjo.com/docs/unreal/manual-varjo-plugin>.viitattu 1.3.2021.
41. Ilonait. Haettu: <https://verkkokauppa.ilonait.fi/elgato-green-screen-vihreakangas/category/c/p9685946>.viitattu 1.3.2021
42. Varjo. Haettu: <https://varjo-storage.s3.eu-central-1.amazonaws.com/docs/varjo-markers/VarjoMarkers-Object150mm-A4.pdf>.viitattu 1.3.2021