



# Vuorovaikutukset VR-ympäristössä

Case VR-galleria 2021

Tommi Mäkeläinen

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2022

Tietojenkäsittely  
Pelituotanto

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tietojenkäsittely  
Pelituotanto

MÄKELÄINEN TOMMI  
Vuorovaikutukset VR-ympäristössä  
Case VR-galleria 2021

Opinnäytetyö 46 sivua  
Toukokuu 2022

---

Opinnäytetyön aiheena ovat fyysiset vuorovaikutukset virtuaalitodellisuudessa. Työn tavoitteena oli perehtyä erityisesti pelaajan ja virtuaalimaailman objektien välisten vuorovaikutusten tutkimiseen. Ne voidaan jakaa valintaan, manipulaatioon sekä liikkumiseen. Näiden vuorovaikutusten toteuttamiseen käytetään erilaisia käyttöliittymiä, kuten virtuaalilaseja ja ohjaimia. Immersion parantamiseksi kehitteillä on myös muita välineitä, kuten haptisia käsineitä.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli syventyä siihen, miten pelaajan aiheuttamat vuorovaikutukset on toteutettu VR-peleissä. Työ suoritettiin osana Mediapoliksien VR-galleria Kaleidoscopers -hanketta, jossa luotiin virtuaalinen galleria valmistuvien Fine Arts -opiskelijoiden teosten esittelemiseen. Työssä esitellään hankkeessa käytettyjä laitteita ja sovelluksia sekä virtuaaligallerian valmistumisprosessia. Galleria luotiin Unity-pelimoottorilla, ja sen alustaksi valittiin Oculus Quest helppokäyttöisyyden vuoksi. Projektissa käytetty Unity-laajennus teki kehitystyöstä entistä helpompaa eikä projektissa tullut vastaan suurempia haasteita. VR-galleriassa esiintyvät vuorovaikutukset sekä niiden toteutukset esitellään huonekohtaisesti.

VR-galleria oli esillä Kaleidoscopers-gallerian avajaisissa marraskuussa 2021. Käyttäjiltä saadun palautteen pohjalta virtuaaligallerian suosituimmat vuorovaikutukset olivat piirtäminen ja lentäminen, joissa immersio on varsin voimakas. Vaikka VR-kehitys on vielä alkuvaiheissa, on siitä tullut yhä helpompaa teknologian ja työkalujen kehittyessä.

---

Asiasanat: virtuaalitodellisuus, vr, vuorovaikutus, virtuaaligalleria, vr-lasit, objekti

## **ABSTRACT**

Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Business Information Systems  
Option of Game Development

MÄKELÄINEN TOMMI:  
Interactions in Virtual Reality  
Case VR Gallery 2021

Bachelor's thesis 46 pages  
May 2022

---

The subject of this thesis are physical interactions in virtual reality. The objective was to study interactions between a user and the objects in virtual reality, which are selection, manipulation, and movement. Different types of interfaces, VR glasses and controllers, enable the use of these interactions. In addition, new types of virtual devices are in development to increase the immersion further.

The purpose was to learn how user interactions have been implemented in VR games. The thesis is based on the VR gallery Kaleidoscopers project, commissioned by Mediapolis. Virtual gallery was created to showcase the works of graduating Fine Arts students. The devices and programs, which were used to create virtual gallery, are presented, as well as the development process. Virtual gallery was developed using Unity engine, and Oculus Quest was the selected platform because of its accessibility. The use of Unity extension for VR development made the development easier and no major difficulties were encountered. Finally, the interactions in the finished virtual gallery and its rooms are presented.

VR Gallery was presented in the opening ceremony of Kaleidoscopers gallery in November 2021. Based on the feedback from the users, the most popular interactions in the VR gallery were drawing and flying as they are quite immersive. Despite VR development being in early stages, the improved technology and tools have made it easier than before.

---

Key words: virtual reality, vr, interaction, virtual gallery, vr headset, object

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	LAITTEISTOT JA OHJELMISTOT .....	8
	2.1 Oculus Quest .....	9
	2.2 Kehitystyökalut .....	10
3	VUOROVAIKUTUS VR-YMPÄRISTÖSSÄ .....	12
	3.1 Pelin fysiikan aiheuttama vuorovaikutus .....	13
	3.2 Pelaajan aiheuttama vuorovaikutus .....	15
	3.2.1 Valinta .....	15
	3.2.2 Manipulaatio .....	16
	3.2.3 Liikkuminen .....	17
4	MAHDOLLISUUDET TULEVAISUUDESSA .....	19
	4.1 Haptiset käsineet .....	19
	4.2 Haptinen puku .....	20
	4.3 VR-kengät .....	21
5	VIRTUAALIGALLERIA KALEIDOSCOPIERS .....	23
	5.1 Hankkeen tavoite .....	23
	5.2 Työryhmä .....	23
6	VUOROVAIKUTUKSET VIRTUAALIGALLERIASSA .....	25
	6.1 Universaalit vuorovaikutukset .....	25
	6.2 MainRoom .....	26
	6.3 Alberto .....	27
	6.4 Anna .....	28
	6.5 Aramis .....	30
	6.6 Elina .....	31
	6.7 Jasmin .....	32
	6.8 Jenny .....	32
	6.9 Minh .....	33
	6.10 Minna .....	34
	6.11 Misa .....	35
	6.12 Sandra .....	36
	6.13 Soyoung .....	37
	6.14 Tiina .....	38
	6.15 DevRoom .....	39
7	AVAJAISET HIMMELBLAUSSA .....	41
8	POHDINTA .....	42
	8.1 Vuorovaikutukset .....	42

8.2 Virtuaaligalleria Kaleidoscopers .....	43
LÄHTEET .....	45

**LYHENTEET JA TERMIT**

VR, virtuaalitodellisuus	tietokonesimuloitu todellisuus, jossa pelaaja voi vuorovaikuttaa keinotekoisen ympäristön kanssa
immersio	virtuaalitodellisuuteen syventymisen voimakkuus
pelimoottori	ohjelmisto, jolla luodaan videopelejä
VR-lasit	silmille laitettava laite, joka mahdollistaa virtuaalitodellisuuden uppoutumisen
kappale, esine	todellisen maailman fyysinen esine
objekti	virtuaalitodellisuuden 3D-esine
asset	pelimoottorissa käytettyä sisältöä, esimerkiksi 3D-malli tai äänitiedosto

## 1 JOHDANTO

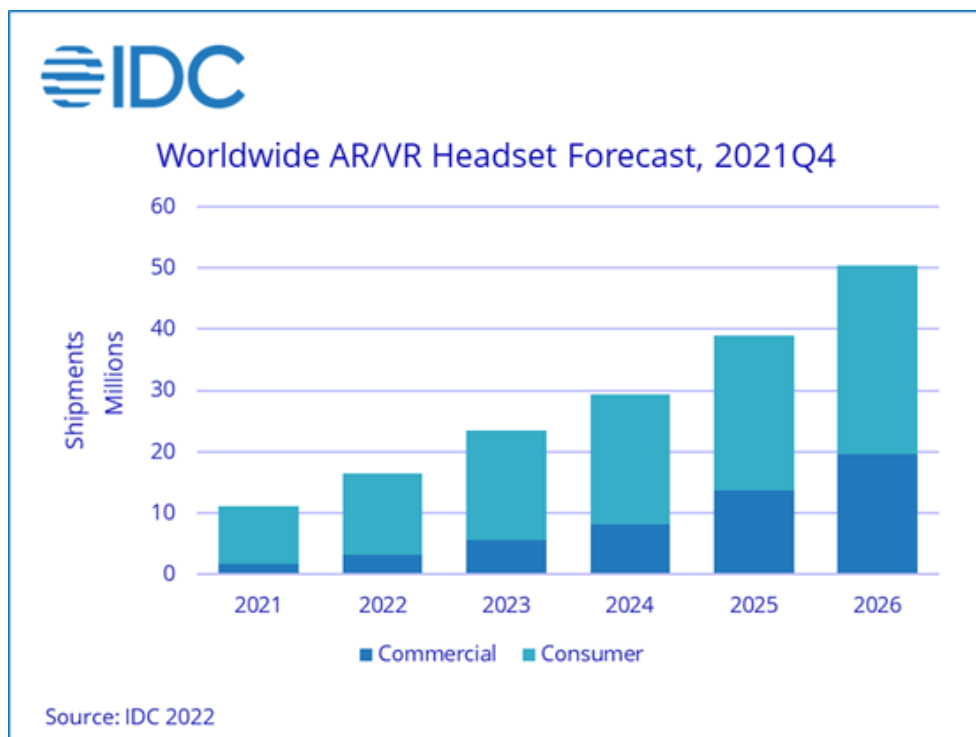
Virtuaalitodellisuudella tarkoitetaan teknologiaa, jossa pelaaja voi vuorovaikuttaa digitaalisessa ympäristössä, mutta immersion vuoksi tuntee olevansa fyysisessä ympäristössä (Rouse 2022). Tällä hetkellä yleisin tapa virtuaalielämyksen luomiseksi ovat virtuaalilasit. Virtuaalilaseilla käyttäjälle näytetään stereoskooppista kuvaa, joka luo syvyytsvaikutelman virtuaalisesta 3D-maailmasta. Lisäksi pelaajan pään liike kiertää pelimaailman kameraa, jolloin käyttäjälle syntyy illuusio kuin hän olisi virtuaalisen maailman sisällä. Tämän lisäksi pelaajalla on käytössään ohjaimet, joilla hän voi liikkua virtuaalisessa maailmassa. Yleensä ohjaimet näyttyvät virtuaalitodellisuudessa pelaajan leijuvina käsinä, joilla pelaaja pääsee liikkumisen lisäksi myös mm. koskettamaan, poimimaan ja heittämään virtuaalimaailman objekteja, ts. vuorovaikuttamaan virtuaalisen maailman objektien kanssa.

Tämän opinnäytetyön tarkastelukohtana ovat nimenomaan vuorovaikutukset virtuaalitodellisuudessa, niiden yhteys todellisiin fysiikan vuorovaikutuksiin ja kuinka vuorovaikutuksia simuloidaan VR-peleissä ja sovelluksissa. Käsitteellä vuorovaikutus on myös sosiaalinen merkitys, mutta tässä tutkielmassani vuorovaikutus merkitsee kykyä liikkua virtuaalimaailmassa sekä olla vuorovaikutuksessa virtuaalisen maailman objektien välillä. (Bostan 2006). Tutkielma toteutettiin osana Mediapoliksen Virtual Gallery 2021 -hanketta. Hankkeen tavoitteena oli luoda virtuaalinen galleria Mediapoliksen Fine Arts -linjan valmistuville artisteille, jossa artistit saivat vaikuttaa gallerian sisältöön. Galleriassa käyttäjä voi liikkua luodussa virtuaaliympäristössä, tutkia artistien töitä sekä vuorovaikuttaa niiden kanssa. Tehtävänäni hankkeessa oli VR-maailman luonti pelimoottorilla sekä artistien maailmoin toivomien toiminnallisuuksien tuottaminen. Esittelen seuraavaksi projektissa käyttämäni laitteistot ja ohjelmistoja.

## 2 LAITTEISTOT JA OHJELMISTOT

VR-sovelluksia voi pelata kaupallisilla virtuaalilaseilla, joista suosituimpia ovat mm. Oculus Quest (nykyinen Meta Quest), Valve Index sekä HTC Vive (Dexter & Ridley 2022). Oculus Quest-laseissa on sisällä oma Android-käyttöjärjestelmä, kun taas HTC Vive vaatii toimiakseen tietokoneen. On myös laseja, jotka toimivat langattomasti pelikonsoleista (Playstation VR), tai älypuhelimilla toimivia laseja, joissa älypuhelin kiinnitetään itse laseihin (Google Cardboard).

Viime vuosina virtuaalilasien markkinat ovat kasvaneet merkittävästi, sillä lasista on tullut entistä edullisempia ja käytännöllisempiä tavalliselle kuluttajalle. Lisäksi korona-ajalla on ollut positiivinen vaikutus lasien myyntiin, sillä ihmiset ovat pysytelleet kotonaan. Samalla etätyöskentelyn mahdollisuudet ovat lisääntyneet ja yritykset ovat koittaneet reagoida tilanteeseen järjestämällä esimerkiksi virtuaalitodellisuuskokouksia (Murphy 2020). IDC (International Data Corporation) ennustaa AR/VR-lasien myynnin lisääntyvän 35.1% vuodessa, jolloin lasien myynnin odotetaan ylittävän 50 miljoonaa kappaletta vuonna 2026 (kuva 1).



KUVA 1. Ennuste AR/VR-lasien myynnistä (IDC 2022).



## 2.1 Oculus Quest

Facebookin omistamat ja Oculuksen kehittämät Oculus Quest -virtuaalilasit ovat olleet suosituimpia vaihtoehtoja markkinoilla. Facebookin vaihdettua nimensä hiljattain Metaksi, Oculus Quest lasit tunnetaan nyt nimellä Meta Quest. Hankkeessa käyttämäni lasit olivat vielä nimellä Oculus Quest, joten käytän opinnäytetyössäni tätä nimitystä.

Projektissa tuli valita, kehitettäisiinkö VR-galleria Oculus Quest vai HTC Vive virtuaalilaseille, mutta valinnassa päädyttiin Questiin. Syksyllä 2020 olin kääntänyt aiemman Vivelle tehdyn virtuaaligallerian Oculus Questille, joten Quest-kehitys oli tuoreessa muistissa. Lisäksi käyttötarkoituksena olisi esitellä virtuaaligalleriaa Fine Arts -opiskelijoiden valmistujaisgalleriassa, jolloin vierailijat pääsisivät myös testaamaan virtuaalista galleriaa. Oculus Questilla VR-sovellukset toimivat suoraan laseista, jolloin erillistä tietokonetta ei tarvita (kuva 2). Vive taas vaatii toimiakseen tietokoneen, kaapelit laseista tietokoneeseen sekä erityiset majakat liikkeen tunnistamiseen. Käytännöllisyyden vuoksi Questilla on helpompi toteuttaa edellä mainittu gallerian esittely.

Questiin on luotu myös oma sovelluskauppa, Oculus Quest Store, jossa pelinkehittäjien sisältöä voi julkaista ja jakaa. Vaikka VR-galleria ei päätynytkään kyseiseen kauppaan, olisi tämä ollut mahdollinen paikka jakaa sovellus Oculus-lasien omistajille. Lisäksi avoimeen lähdekoodiin perustuva SideQuest mahdollistaa VR-pelien julkaisun matalalla kynnyksellä heidän kauppaansa. Erityisesti pelien kehitys Oculukselle on ollut aiemmin epäkäytännöllistä, koska pelin testaaminen kehitysvaiheessa on ollut varsin hidasta. Pelin on joutunut buildaamaan laseihin ennen jokaista testausta, mikä voi kestää jopa minuutteja. Tämä tekee VR-kehityksestä varsin hidasta, sillä pelin voi joutua buildaamaan kymmeniä kertoja päivässä. Nykyään Oculus-laseja voi käyttää suoraan pelimoottorista, jolloin sen käynnistäminen kestää vain sekunteja.

HTC Vive taas voittaa Oculus Questin tehokkuudessa, mikä riippuu suoraan tietokoneen ominaisuuksista, kuten näytönohjaimesta. Koska Questissa on paljon

tehottomampi Android-käyttöjärjestelmä, joudutaan sovelluksia joskus optimoimaan. Koska VR-galleria on kuitenkin varsin yksinkertainen ja kevyt toteutus, ei sovelluksessa tullut kovin suuria optimointihaasteita. Questissa näytön resoluutio on myös heikompi Viveen verrattuna, mutta toimiva, mikäli sovelluksessa ei tarvita korkealaatuista grafiikkaa.



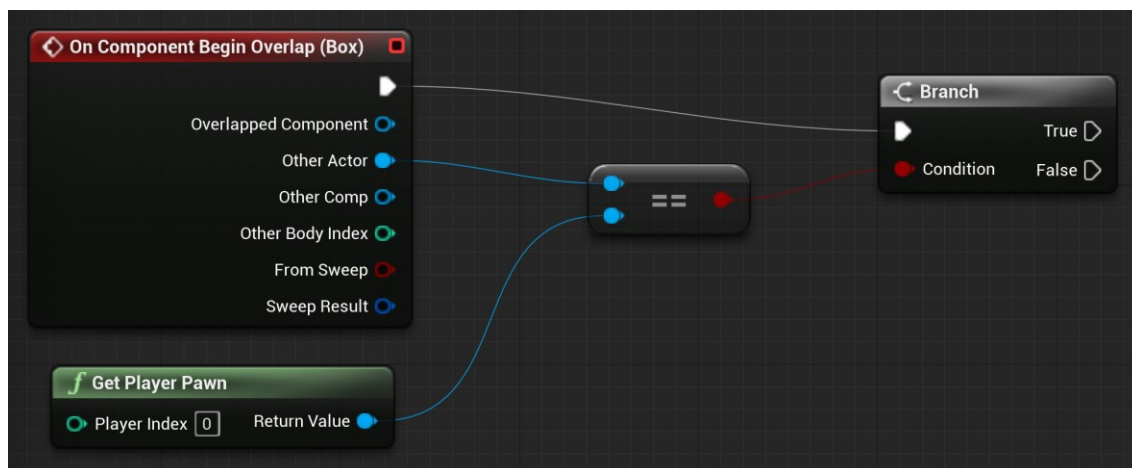
KUVA 2. Oculus Questin käyttöjärjestelmä on itse laseissa, eikä sen käyttöön tarvita erillistä tietokonetta (Kuchera 2019).

## 2.2 Kehitystyökalut

VR-pelejä ja sovelluksia luodaan pääasiassa pelimoottoreilla, eli pelien tekemiseen luoduilla tietokoneohjelmilla, joista käytössäni oli Unity. Peleissä olevat kolmiulotteisen maailman objektit luodaan 3D-mallinnusohjelmilla, johon käytin Blenderiä. 2D-grafiikoiden tekemiseen käytin Kriata. Pelin logiikka ja toiminnallisuus koodataan scripteihin, jonka tukena käytin koodieditori Rideria. Lisäksi käytin Git-versionhallintaa, jossa työkaluna oli Sourcetree. Projektinhallintatyökaluna käytimme puolestaan Trelloa.

Ilmaisista pelimoottoreista suosituimmat ovat Unity ja Unreal Engine. Unitylla käytetään C#-ohjelmointikieltä, kun taas Unreal Enginessä voidaan käyttää C++

tai visuaalista ns. Blueprint-scriptausta. Blueprint-scriptaamisessa kytketään erityisiä noodeja toisiinsa, jolloin ei tarvita tekstipohjaista koodaamista (kuva 3). Valitsin kuitenkin Unityn Unreal Enginen sijaan, koska se tarjoaa monipuoliset VR/AR-kehitystyökalut, ja on yhteensopiva tunnetuimpien alustojen kanssa. Lisäksi pelikehityksessä olen käyttänyt aiemmin vain Unitya, mikä oli merkittävin syy valinnassani - uuden pelimoottorin opettelu olisi vienyt liian paljon aikaa.



KUVA 3. Visuaalisessa Blueprint-scriptauksessa kytketään noodeja toisiinsa (Unreal Engine 2022).

### 3 VUOROVAIKUTUS VR-YMPÄRISTÖSSÄ

Virtuaalitodellisuudella on kolme tärkeää elementtiä: vuorovaikutus, immersio ja mielikuvitus. Vuorovaikutus viittaa luonnolliseen vuorovaikuttamiseen käyttäjän ja virtuaalisen maailman välillä, mikä tuntuu samanlaiselta kuin todellisessa maailmassa. (Yang et al. 2019). Immersio taas merkitsee virtuaalisen maailman uskottavuutta, jota käyttäjän mielikuvitus pystyy vahvistamaan.

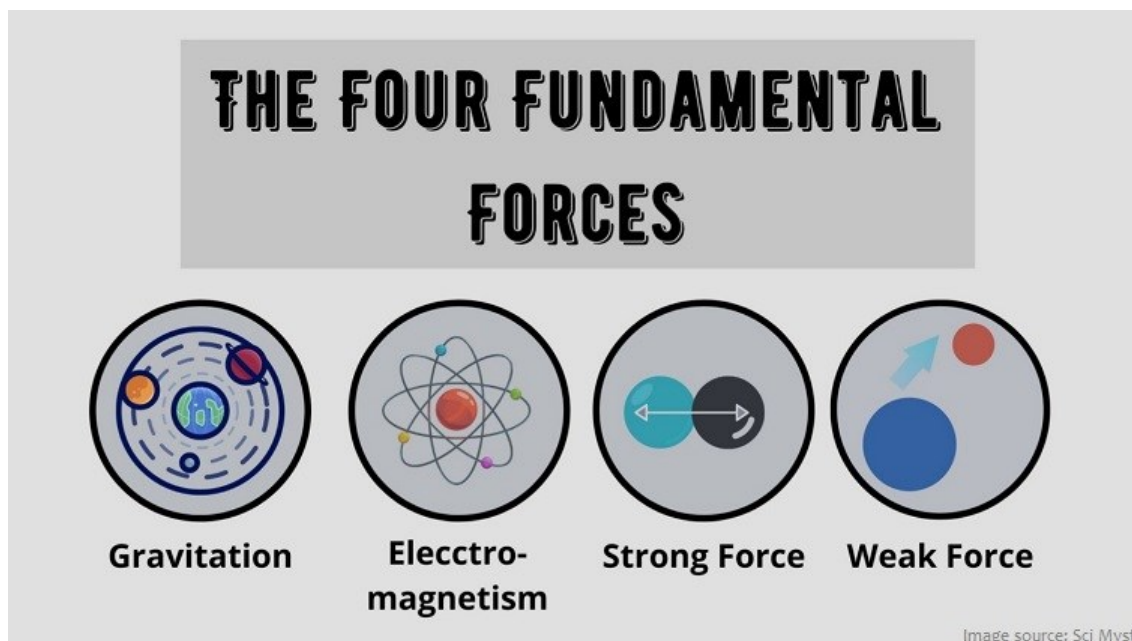
Todellisen maailman vuorovaikutukset ovat selitettävissä neljän fysiikan perusvuorovaikutuksen avulla: gravitaatio, sähkömagneettinen, vahva ja heikko vuorovaikutus (kuva 4). Nämä perusvuorovaikutukset vaikuttavat aina kahden kappaleen välillä ja vaikuttavat molempiin osapuoliin yhtä suurella, mutta vastakkaismerkkisellä voimalla (Hansson n.d.). Vuorovaikutuksesta riippuen sen voimakkuuteen vaikuttaa kappaleiden eri ominaisuudet kuten massa, kappaleiden välinen etäisyys tai sähköinen varaus. Vaikka monet vuorovaikutukset ovat esitettävissä makrotasolla, on niissä pohjimmiltaan kyse mikrotason ilmiöistä.

Gravitaatio on vuorovaikutuksista heikoin, mutta havaittavissa, jos kappaleiden massat ovat suuret. Esimerkiksi Maa ja omena vaikuttavat toisiinsa yhtä suurella mutta vastakkaissuuntaisella gravitaatiovoimalla, mikä on havaittavissa; omenan irrotessa puusta se putoaa Maata kohti. Samoin Maa liikkuu omenaa kohti, mutta sen massan aiheuttama hitauden vuoksi se pysyy käytännössä paikallaan.

Sähkömagneettinen vuorovaikutus vaikuttaa varattujen hiukkasten välillä. Vuorovaikutus on hylkivä, mikäli varaukset ovat samanmerkkiset, ja vetävät toisiaan puoleensa, mikäli ne ovat samanmerkkiset. Sähkömagneettisen vuorovaikutuksen vuoksi mm. elektronit pysyvät atomin ytimen ympärillä ja kammatut hiukset vetävät kappaa puoleensa.

Vahva ja heikko vuorovaikutus vaikuttaa taas atomin ytimen pienimpien rakenneosasten, kuten kvarkkien välillä. Toisiinsa sidottuina, nämä muodostavat mm. protonit ja neutronit. Koska videopelien objektit eivät muodostu yksittäisistä atomeista, ei näitä vuorovaikutuksia tarvitse mallintaa peleihin.

Ongelmana fysiikan vuorovaikutusten mallintamisessa, niin virtuaalitodellisuuden kuin peleihin, on laskennan mahdottomuus. Vuorovaikutuksia kappaleen muodostavien atomien välillä on lukematon määrä, eikä tietokoneiden tehot riitä kaikkien vuorovaikutusten laskemiseen. Joudutaan tekemään kompromisseja siitä mitä lasketaan, ja mallintamaan tilannetta riittävän totuudenmukaisesti. Virtuaalitodellisuuden vuorovaikutusten mallintamisessa kannattaakin tehdä joko sen mukaan, aiheuttaako vuorovaikutuksen pelaaja vai pelin fysiikka.



KUVA 4. Arkielämän ilmiöt ovat selitettävissä fysiikan neljän perusvuorovaikutuksen avulla (Simone 2020).

### 3.1 Pelin fysiikan aiheuttama vuorovaikutus

Pelin fysiikalla tarkoitetaan peliin ohjelmoitua fysiikkaa, joka jäljittelee edellä mainittuja fysiikan perusvuorovaikutuksia. Vuorovaikutuksia mallinnetaan harvoin realistisina peleihin, sillä arkielämän fysiikka on meille liiankin tuttua. Mikäli fysiikat mallinnettaisiin täysin realistisina peleihin, pelattavuus kärsisi. Esimerkiksi hyppääminen peleissä on paljon hauskempaa, kun pelihahmo hyppää korkeammalle, kuin mitä arkielämässä pystyisi. Super Mario Bros. pelissä Mario pystyy hyppäämään noin viisi kertaa oman korkeutensa (kuva 5), jolloin kiihtyvyyden on hypyn aikana noin 9,31 G-voimaa. Ihminen menettää tajunnan keskimäärin jo 5

G-voiman kiihtyvyydessä (Lefky & Gindin 2007). Vaikka fysiikka ei ole realistinen, pelattavuus on sitäkin mukavampi.

Pelien fysiikkamoottori on osa pelimoottoria ja vastuussa pelin fysiikasta. Unityn oma sisäänrakennettu fysiikkamoottori hoitaa peleissä edellä esitettyjä fysiikan vuorovaikutusten mallinnuksia. Käyttäjällä on kuitenkin vapaat kädet tehdä myös omat vuorovaikutusten toteutuksensa Unityyn, tehdäkseen fysiikasta haluamalaisensa. Tämä on varsin yleistä mm. tasoloikka-peleissä, joissa hahmon liikkuminen on tärkeä osa pelituntumaa.

Fysiikkamoottori siis toteuttaa mm. gravitaation eli kappaleiden putoamiset sekä törmäykset. Koska useimmat virtuaalisovellukset ja -pelit tehdään pelimoottoreilla, ovat maailman fysiikat varsin samanlaiset kuin muissa 3D-peleissä. Näin ollen pelin fysiikan aiheuttamat vuorovaikutukset eivät ole ominaista virtuaalito-dellisuudelle, joten sivuutan ne, ja käsittelen ainoastaan pelaajan aiheuttamia vuorovaikutuksia.



KUVA 5. Super Mario Bros. pelissä fysiikat eivät ole realistiset (Lefky & Gindin 2007).

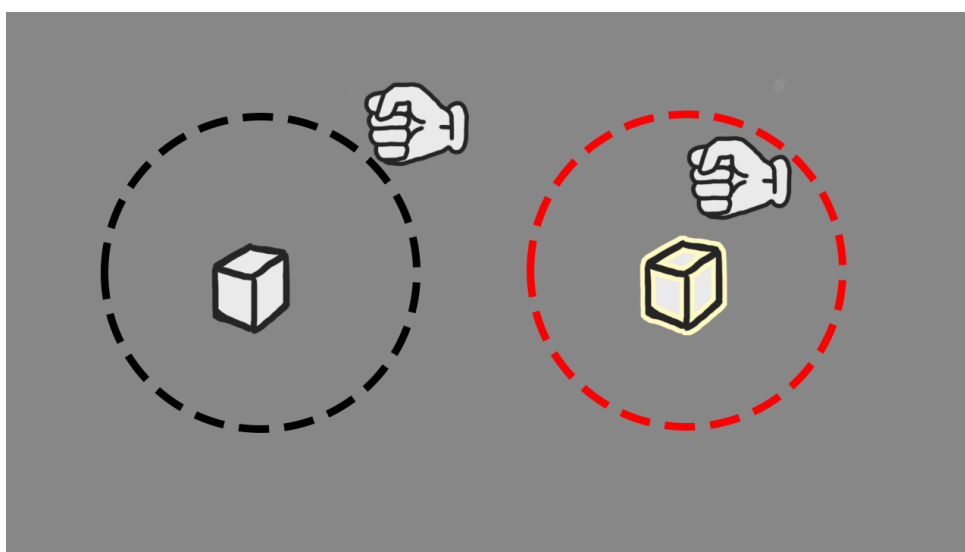
## 3.2 Pelaajan aiheuttama vuorovaikutus

Klassisessa fysiikassa ihmiseen vaikuttaa täsmälleen samat säännöt kuin mihin tahansa muihin kappaleisiin. Virtuaalitodellisuudessa pelaajalla on kuitenkin omat erityissääntönsä, jotka mahdollistavat vuorovaikutukset mutkattomammin. Nämä kolme keskeistä vuorovaikutusta ovat valinta, manipulaatio ja liikkuminen.

### 3.2.1 Valinta

VR-ympäristössä valinnalla tarkoitetaan jonkin esineen tai elementin fokusointia. Fokusointiin on useita tapoja, mutta tyypillistä on esimerkiksi viedä käsi riittävän lähelle valittua objektia taikka kohdistamalla siihen käden laserosoitimella. Samalla objekti tulee korostetuksi, mikä on merkki siitä, että pelaaja voi nyt manipuloida objektia (kuva 6).

Tämä kappaleisiin "koskettaminen" on yksinkertaista toteuttaa esimerkiksi Sphercasteilla, missä objektin ympärille muodostetaan näkymätön pallo. Mikäli pelaajan käsi lävistää pallon pinnan, kappaleen interaktio käynnistyy. Vastaavasti interaktio voidaan käynnistää vasta silloin, kun pelaajan käsi poistuu pallon sisältä tai se on voimassa niin kauan, kuin käsi on pallon sisällä; tapoja on monia.



KUVA 6. Kun pelaajan käsi menee objektin muodostaman Sphercastin sisälle, objekti tulee valituksi.

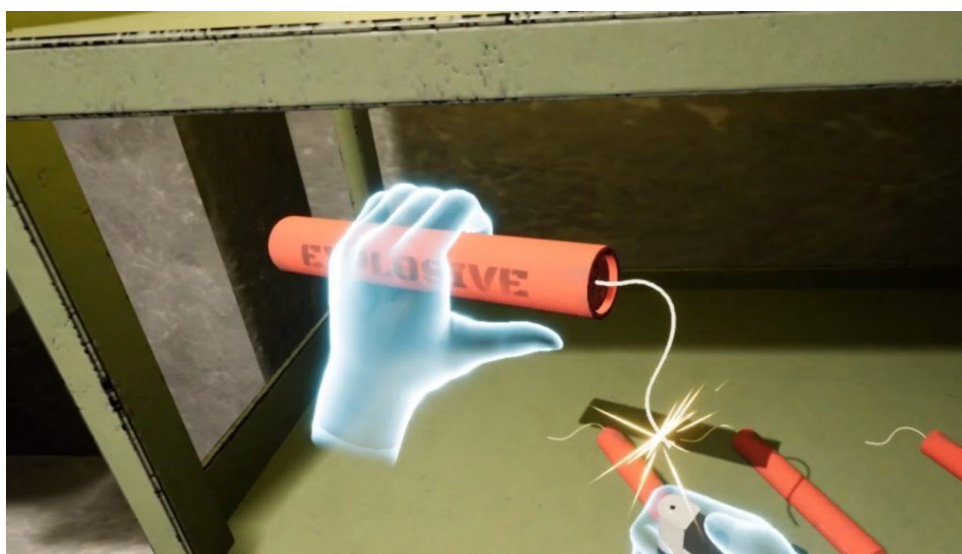
### 3.2.2 Manipulaatio

Manipulaatio tarkoittaa virtuaalitodellisuuden esineiden tai asioiden Transformin eli sijainnin, rotaation ja skaalan muokkaamista. Esimerkiksi esineen työntäminen kädellä siirtää sen sijaintia. Tyypillinen vuorovaikutustapa manipulaatiosta on esineeseen tarttuminen, joka on kaksivaiheinen:

1. Esineen valinta, mikä tapahtuu edellä esitellyillä tavoilla
2. Esineeseen tarttuminen (esimerkiksi käsiohjaimen tarttumispainikkeella)

Kun esineeseen tartutaan, se liimautuu pelaajan käteen ja "unohtaa" pelin fysiikat. Niin kauan kuin pelaaja pitää tarttumispainiketta pohjassa esine seuraa pelaajan käden liikettä (kuva 7). Tarttumisen vapauttaminen irrottaa esineen pelaajan kädestä, jolloin se on jälleen altis pelin fysiikoille ja putoaa maahan.

Esineen interaktio on yleisin manipulaation vuorovaikutuksista, mikä tarkoittaa esineeseen koodatun tapahtuman suorittamista. Esimerkiksi viemällä käsi riittävän lähelle valokatkaisijaa ja painamalla käsiohjaimen interaktiopainiketta (usein sama kuin tarttumispainike), voidaan kytkeä valot päälle tai pois päältä. Interaktio on siis manipulaation abstrakti määritelmä, ja esineeseen tarttuminen on eräs interaktion toteutus.

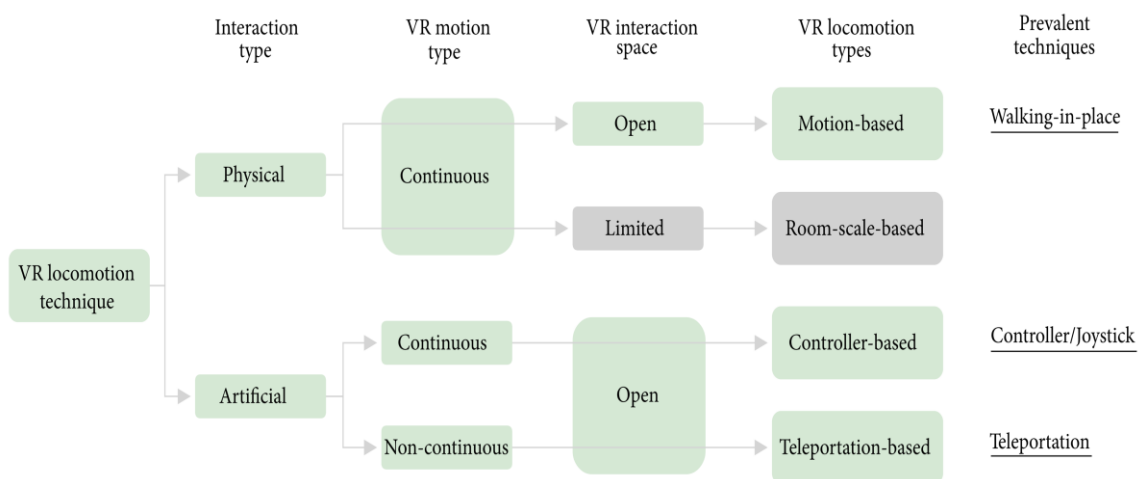


KUVA 7. Poimittu objekti seuraa pelaajan käden liikettä (Brennan 2017).



### 3.2.3 Liikkuminen

Liikkumisen toteuttaminen virtuaaliympäristöön onkin hieman haastavampaa kuin manipulaatioiden toteuttaminen. Eräs syy tähän on käyttöympäristössä. Liikkumisessa immersio on voimakas, kun käyttäjä pystyy liikkumaan fyysisesti paikaltaan, mutta harvalla on riittävästi huonetilaa liikkua mielivaltaisesti. Virtuaalitodellisuuden liikkumistavat voidaan jakaa neljään eri luokkaan: liikkeeseen, huoneskaalaan, ohjaimeen tai teleportaatioon perustuvaan liikkeeseen (Boletsis 2017).



KUVA 8. Virtuaalitodellisuudessa voidaan liikkua neljällä eri tavalla (Boletsis 2017).

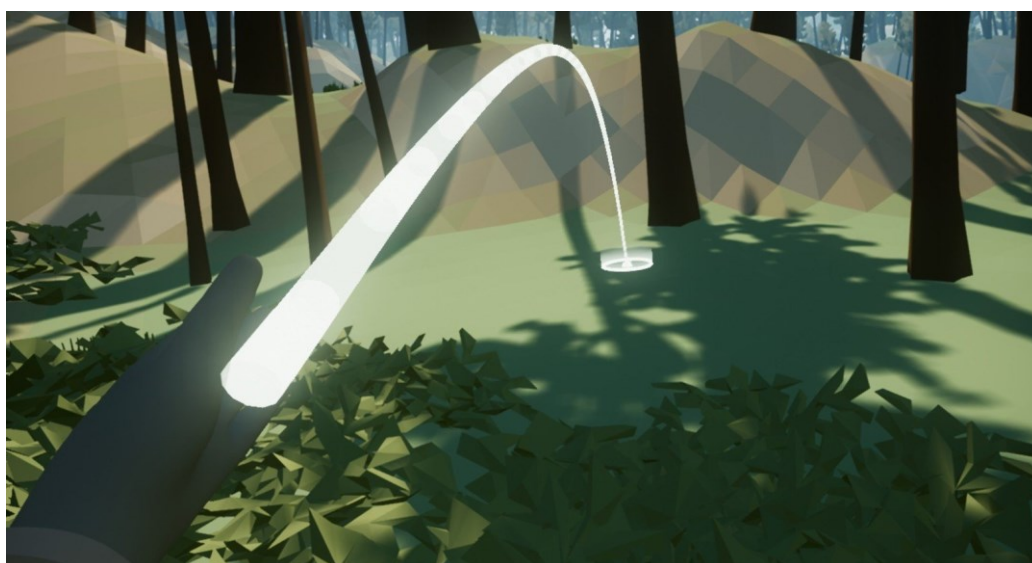
Liikkeeseen perustuva liikkuminen toteutetaan jollakin fyysisellä liikkeellä, yleensä käsien heiluttamisella. Kun pelaaja heiluttaa käsiään reippaasti, pelihahmo liikkuu pelaajan katsomaan suuntaan. Positiivista toteutuksessa on painikkeiden säästäminen muuhun tarkoitukseen, mutta hankaluutta tuo mm. liikkumisen kömpelyys ja käsien väsyminen.

Huoneskaalaan perustuva liikkuminen tarkoittaa liikkumista fyysisesti tilassa, jossa VR-laseja käytetään. Kotioloissa liikettä rajoittaa oman huoneen koko,

minkä vuoksi täysin mielivaltainen liikkuminen mahdotonta. Huoneskaalaan perustuvassa liikkumisessa liikkumistapa vastaa reaali maailman liikettä ja immersio on siten voimakkain.

Edellä esitetyt liikkumistavat ovat fyysisiä, eli pelaajan tulee tehdä fyysistä liikettä liikuttaakseen pelaajahahmoa. Ohjaimen ja teleportaatioon perustuvat liikkumistavat ovat kuitenkin keinotekoisia. Ohjaimen perustuva liikkuminen tarkoittaa pelaajahahmon liikuttamista ohjaimen syötteellä, mikä on varsin samanlainen kuin ensimmäisen persoonan 3D-peleissä. Immersio ei ole kovin voimakas, ja painikkeisiin tottuminen voi viedä aikaa, mutta liikkumistapa on nopea ja pelattavissa paikaltaan.

Teleportaatioon perustuvassa liikkumisessa on kyse pelaajan siirtämisestä haluttuun paikkaan ilman jatkuvaa liikettä. Käsiohjaimista ammutaan kaari maahan siihen kohtaan, johon halutaan teleportoida (kuva 9). Teleportaatioaluetta voidaan myös rajoittamaan, jolloin esimerkiksi pelaajan yrittäessä teleportoida kielletylle alueelle teleportaatiokaari värjäytyy punaiseksi. Teleportaation ajan pelaajan näkökenttä myös pimennetään hetkellisesti, millä vältetään virtuaalipahoinvoinnin mahdollisuutta. Hyviä puolia teleportaatiossa on sen helppo käyttäminen ja nopea liikkuminen; huonona puolena hahmon sijainnin hienosäätö sekä heikko immersio.



Kuva 9. Kun teleportaatiokaari ei ole punainen, teleportaatio kohteeseen on mahdollista (Hunt 2017).

## 4 MAHDOLLISUUDET TULEVAISUUDESSA

Virtuaalisen vuorovaikutuksen mahdollisuuksia kehitetään jatkuvasti. Tällä hetkellä yleisimmät käyttöliittymät, jotka toimivat todellisen maailman ja virtuaalitoellisuuden välillä ovat virtuaalilasit, käsiohjaimet sekä eleet. Käsiohjaimet ovat selkeästi käytetyin vuorovaikutustapa, mutta virtuaalilasien kehittyessä, eleillä vuorovaikuttaminen on tullut yhä helpommaksi. Virtuaalilasien kamerat pystyvät seuraamaan käyttäjän käsien ja sormien asentoa, mitkä ohjaavat virtuaalimaailman käsien asentoa, jolloin ylimääräisiä ohjaimia ei tarvita.

Tulevaisuuden tavoitteena on tehdä VR-käyttöliittymistä entistä helppokäyttöisempiä, monipuolisempia sekä immersiota edistävämpiä. Nämä voivat olla mm. tehokkaampia virtuaalilaseja, käsiohjaimia, liikkumista parantavia välineitä tai muita toteutuksia. Esitän tässä luvussa joitakin tällä hetkellä kehitteillä olevia projekteja.

### 4.1 Haptiset käsineet

Vaikka käsiohjaimet mahdollistavat esineiden poimimisen, eivät ne pysty tuottamaan immersiota, missä pelaaja pystyisi tuntemaan poimittavan esineen. Tämä ei tietenkään ole mahdollista myöskään eleiden seuranta -teknologialla. Immersion tuottamiseksi on ollut kehitteillä haptisia käsineitä, jotka tuottavat tämän immersion. Kun pelaaja poimii esineen virtuaalimaailmassa, käsineet jäykistävät pelaajan sormet ja antavat samalla pelaajan sormiin puristuksen esineen muodon mukaan. Näin pelaaja tuntee pitävänsä oikeaa esinettä kädessään vaikkei hänen käsissään ole mitään. HaptX:n käsineet saavat tämän aikaan 133 haptisella pisteellä, jonka on todettu olevan varsin immersiiivinen (kuva 10). Kyseiset käsineet ovat suunniteltu pääasiassa ammattilaisten käyttöön (Caddy 2022).



KUVA 10. HaptX-käsineet (Mitrak 2021).

## 4.2 Haptinen puku

Tuntoaistin hyödyntäminen VR-todellisuudessa ei jää ainoastaan haptisiin käsi-  
neisiin. Kehitteillä on ollut myös haptisia pukuja, jotka antavat haptista palautetta  
kehon eri osiin pelatessa (kuva 11). Esimerkiksi Thrill of the Fight -nyrkkeilype-  
lissä pelaaja voi tuntea värinän vasemman kylkiluun kohdalla saadessaan siihen  
iskun pelatessaan. (Ambalina 2020)

Haptiset puvut lisäävät siten immersiota pelatessa, mutta tällä hetkellä ovat vielä  
kehitysvaiheessa. Haasteena ovat esimerkiksi haptista pukua tukevien pelien  
suppeus, puvun paino sekä hinta. Tällä hetkellä kuluttajille suunnattuja haptisia  
pukuja ovat mm. Teslasuit sekä Axon VR. (Sam U 2021)



KUVA 11. Tesla Suit (Graham 2021).

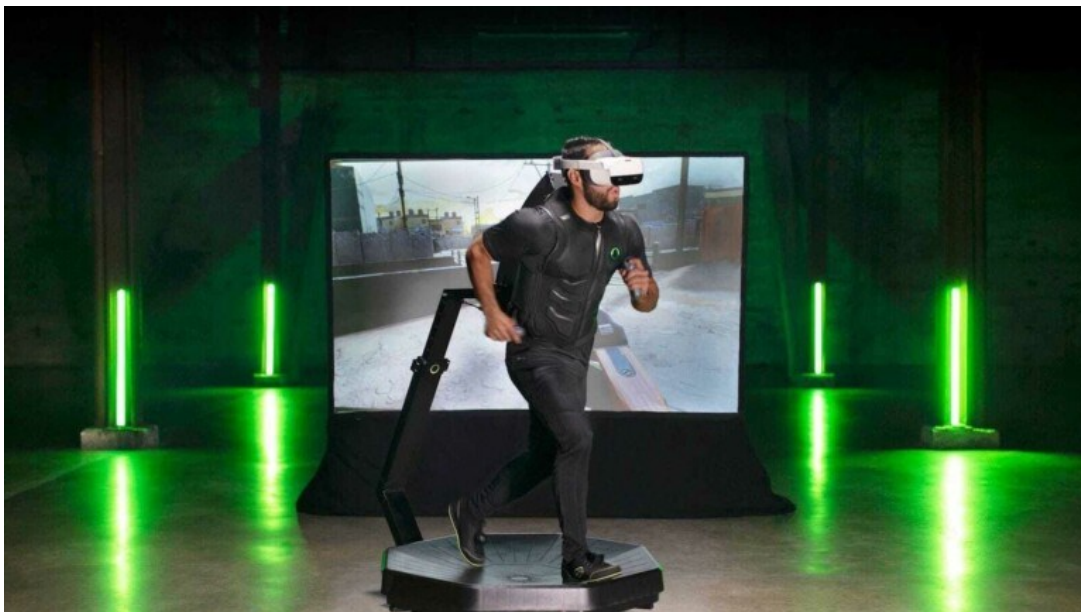
### 4.3 VR-kengät

VR-sovelluksissa liikkuminen seuraa pääasiassa käyttäjän lasien sijaintia, jolloin käyttäjän liikkua oikeassa maailmassa pelaajahahmon sijainti muuttuu vastaavalla muutoksella virtuaalitodellisuudessa. Käyttäjän huonetila on kuitenkin rajattu, minkä vuoksi VR-peleihin on toteutettu myös ohjaimilla liikkuminen. Liikkuminen olisi kuitenkin vakuuttavampi, jos käyttäjällä olisi rajattomasti tilaa liikkua, tai jos hän voisi käyttää jalkojaan.

Liikkumisen immersion lisäämiseksi VR-todellisuudessa on kehitetty erilaisia toteutuksia. Virtuixin kehittämä Omni One on 360 asteen juoksumatto (kuva 12), jossa pelaaja voi kääntyä ja kävellä tai juosta alustalla haluamaansa suuntaan pysyen silti paikallaan. (Haskins 2021). Virtuaalitodellisuudessa pelaajan hahmo kuitenkin liikkuu kyseiseen suuntaan. Virtuix on aloittanut kuluttajille suunnatun Omni Onen myynnin syksyllä 2021, jonka hinta on tällä hetkellä 2295 dollaria (Omni by Virtuix 2022).

Juoksumaton lisäksi on tehty myös muita ratkaisuja liikkua virtuaalitodellisuudessa. Cybershoesin virtuaalikengillä pelaajan tulee istua pyörivällä tuolilla, jolloin jalkoja heiluttamalla pelaaja liikkuu eteenpäin virtuaalitodellisuudessa (Courtney 2021). Immersio on tuskin Omnin veroinen, mutta paljon edullisempi vaihtoehto kuluttajalle.

Kaikkien virtuaalikenkien tarkoitus ei kuitenkaan ole lisätä juuri liikkumisen immersion tasoa. Taclim VR -kengät antavat puolestaan haptista palautetta pelaajalle, jolloin esimerkiksi pelaajan kävellessä hän voi tuntea maan materiaalin jalkapohjassaan. Droplabs EP-01 virtuaalikengissä on taas kaiuttimet, jotka tuottavat basson värinää kävellessä, ja edistävät siten kävelyn immersion tasoa auditiivisesti. Edellä mainitut virtuaalikengät ovat hyvä esimerkki siitä, kuinka immersion lisäämiseksi voidaan keskittyä erilaisten aistien hyödyntämiseen.



KUVA 12. Omni One VR (Haskins 2021).

## 5 VIRTUAALIGALLERIA KALEIDOSCOPERS

Keväällä 2020 olin ensimmäistä kertaa mukana Mediapoliksen VR-gallery-hankkeessa. Hanke järjestetään vuosittain, ja sen tarkoituksena on tuottaa virtuaalinen galleria, jossa esitellään Mediapolikselta valmistuvien Fine Arts puolen opiskelijoiden lopputyöitä. Vaikkei minulle ollut aiempaa kokemusta VR-kehityksestä, saimme lopulta Atomic Jungle -virtuaaligallerian valmiiksi. Galleria toteutettiin HTC Vive laselle, mutta käänin sen Oculus Quest laselle kesällä 2021. Seuraavan vuoden keväällä 2022 olin jälleen mukana seuraavassa virtuaaligalleriahankkeessa osana Kaleidoscopers näyttelyä.

### 5.1 Hankkeen tavoite

Hankkeen tavoitteena oli tuottaa interaktiivinen virtuaaligalleria VR-laselle. Jokainen valmistuva Fine Arts -puolen opiskelija sai oman ”huoneen” eli virtuaalimaailmansa, joka toteutettiin opiskelijan toivomusten mukaan. Suurimmassa osassa huoneista on esillä opiskelijan lopputyöt hänen toivomassaan ympäristössä, mutta osa opiskelijoista toivoi huoneen edustavan hänen lopputyötään muulla tavoin. Yhteensä opiskelijoita oli 12, joten virtuaaligalleriaan toteutettiin 12 huonetta. Tämän lisäksi galleriassa on yksi aloitushuone, joka toimii virtuaaligallerian aloituspaikkana. Aloitushuoneessa sijaitsee ovi jokaista opiskelijaa kohden, josta pääsee kyseisen opiskelijan huoneeseen. Gallerian huoneista taas pystyi palaamaan aloitushuoneeseen koskettamalla poistumiskylttiä tai kävelemällä Exit-ovesta.

### 5.2 Työryhmä

Hankeen työryhmä pidettiin suppeana, sillä hanke oli lyhytaikainen ja rahoitus yhteinen. Minun vastuullani oli luoda virtuaaligalleria saaduista aseteista (3D-mallit, 2D kuvat, musiikit). Käytännössä työnkuvaani kuului virtuaalimaailmojen

luonti Unity-pelimoottorissa sekä C#-ohjelmointia haluttujen vuorovaikutusten toteuttamiseen. Toisinaan jouduin tekemään myös 3D-malleja, esimerkiksi huoneita.

Minna Annola toimi hankkeen pääsääntöisenä 3D-artistina. Vaikka hänellä ei ollut aiempaa kokemusta 3D-mallintamisesta, hän opetteli niitä samanaikaisesti. Toisinaan hänen oli helpompi turvautua ladattaviin 3D-malleihin ajan säästämiseksi, mutta osa malleista hänen oli tehtävä itse. Minnalla on myös oma huone virtuaaligalleriassa, sillä hän itse kuului valmistuviin Fine Arts -opiskelijoihin. Hänen lopputyönsä hyödynsi AR-teknologiaa, jossa osa teoksesta tulee nähtäväksi, kun hänen tekemiään tauluja katsoo puhelimen kameran kautta Arilyn-sovelluksella.

Musiikit huoneisiin toteuttivat Eetu Tähtinen sekä Vincent Masse. Jokaisessa huoneessa on oma taustamusiikki, joka on suunniteltu huoneen teemaan sopivaksi. Lisäksi osa taustamusiikeista on proseduraalisia, eli reaaliajassa luotua ääntä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että musiikki on joka kerta hieman erilainen, sillä sitä generoidaan pelin aikana.



## 6 VUOROVAIKUTUKSET VIRTUAALIGALLERIASSA

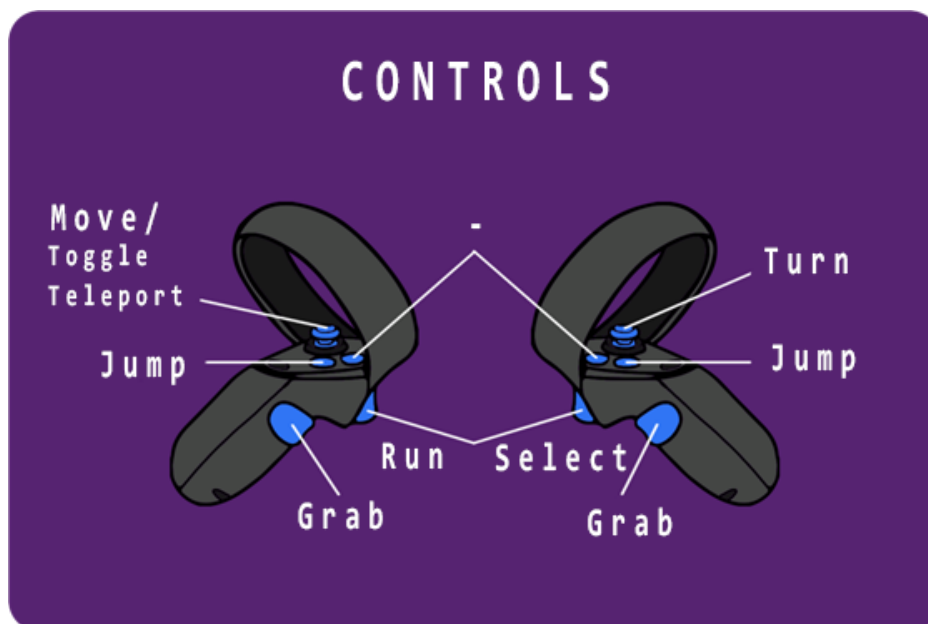
Esitän tässä luvussa Kaleidoscopers-virtuaaligallerian artistien huoneet sekä huoneissa olevia interaktioita. Mainittaneen, että jokaisessa huoneessa pelaajahahmo on samanlainen, ja hänellä on käytössään tyypilliset VR-sovellusten vuorovaikuttamismahdollisuudet, kuten esineiden poimiminen sekä liikkuminen. Vuorovaikuttaminen tapahtuu Oculus Questin käsiohjaimilla, joiden painikekonfiguraatiot vastaavat osittain VR-ohjainten standardeja.

### 6.1 Universaalit vuorovaikutukset

Virtuaalilasien käsiohjaimet eroavat toisistaan muodoiltaan ja painikkeiltaan, mutta tavallisesti painikkeet ohjaimissa ovat loogisissa kohdissa. Siirryttäessä virtuaalilaseista toisiin laseihin, uusiin ohjaimiin tottuminen voi kuitenkin viedä aikaa. Usein VR-toteutuksissa painikkeet liikuttavat juuri niitä sormia virtuaaliympäristössä, joilla painikkeita painetaan. Esimerkiksi etusormella painettava takaliipaisin koukistaa pelaajan etusormeaa, keskisormella painettava liipaisin taas pelaajan keskisormeaa, nimetöntä ja pikkusormeaa. Peukalon asettaminen A- tai B-painikkeille koukistaa pelaajan peukaloo. Nämä mahdollistavat monipuoliset asennot pelaajan käsille, kuten etusormella osoittamisen tai nyrkkiin puristamisen (kuva 13).

Painikkeiden syötteellä on muutakin hyötyä kuin pelaajan sormien liikuttaminen, sillä niillä voidaan vuorovaikuttaa objektien kanssa tai vaikuttaa pelaajan liikkumiseen virtuaaliympäristössä. Onkin kehittäjän vastuulla päättää, millaisia toimintoja hän haluaa asettaa käsiohjaimiinsa. Tekemässäni virtuaaligalleriassa käytin VRIF-laajennuksessa luotuja toimintoja pienillä muokkauksilla. A-painike saa pelaajan hyppäämään, vasen analoginen sauva liikuttaa pelaajaa, kun taas oikea analoginen kääntää pelaajaa. Esineet ovat poimittavissa alemmilla takaliipaisimilla, ja ylemmät takaliipaisimet saavat pelaajan liikkumaan nopeammin. Analogisen sauvan painaminen vaihtaa liikkumistapaa ohjaimeen ja teleportaatioon perustuvan liikkumisen välillä. Henkilökohtaisesti suosin ohjaimeen perustuvaa

liikkumista, mutta teleportaation optio on välttämätön sitä suosiville tai virtuaalipahoinvointiin altistuville.

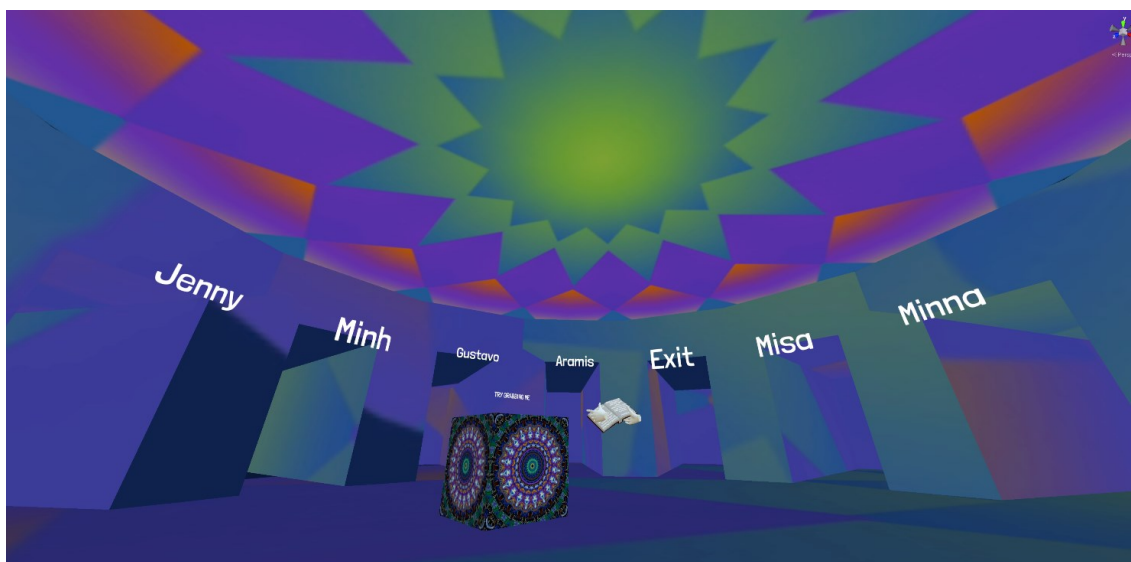


KUVA 13. VR Gallerian ohjainkonfiguraatio.

## 6.2 MainRoom

Virtuaaligalleria alkaa päähuoneesta (MainRoom). Pelaaja ilmestyy keskelle pyöreää huonetta, jonka katto ja seinien kuvitus muuttuu kaleidoskoopin tapaan (kuva 14). Huoneen seinillä on ovet jokaisen artistin huoneeseen sekä pelistä poistumiseen. Pelaajan kädessä on avattu kirja, jossa esitellään pelin kontrollit. Tein tämän valinnan siitä syystä, ettei minun tarvinnut luoda erillistä valikkoa, jossa ohjainasetuksia pääsisi tarkastelemaan. Äänien säädölle ja muille asetuksille ei ollut tarvetta pelin suppeuden vuoksi.

Päähuoneessa pelaaja pääsee kokeilemaan universaaleja mekaniikoita, kuten liikkumista, hyppäämistä, ja käsien ja sormien eri asentoja. Pääaulassa on myös kuutio, jolla pelaaja voi harjoitella vuorovaikutuksia esineiden kanssa, kuten esineen poimimista, pudottamista ja heittämistä. Liikkumalla artistien ovista sisään pelaaja teleportaantuu kyseisen artistin huoneeseen.



KUVA 14. VR-gallerian päähuone.

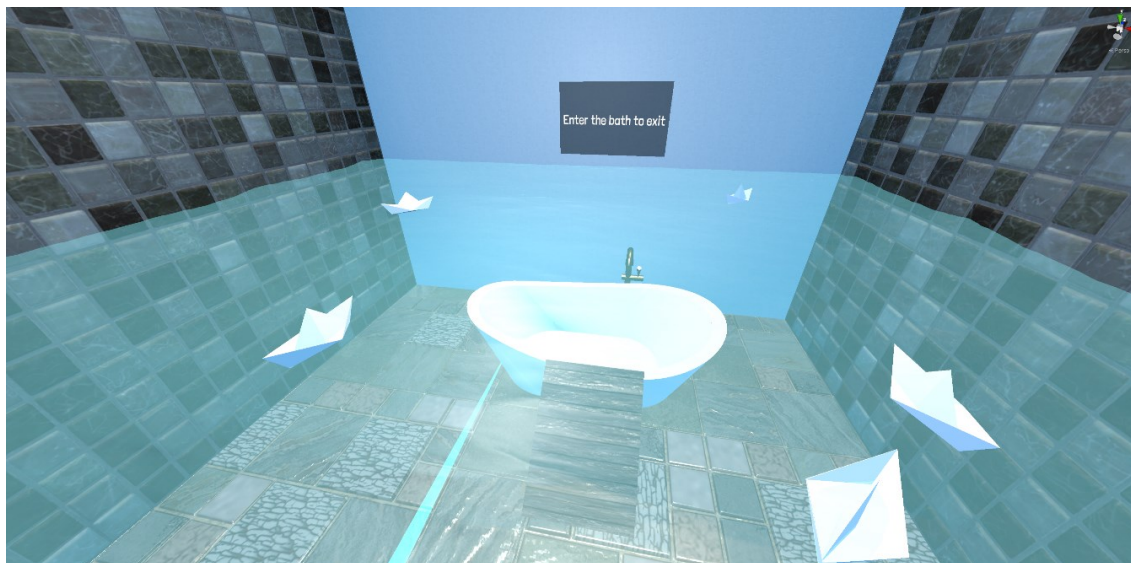
### 6.3 Alberto

Albertolla oli selvä visio hänen huoneestaan. Kyseessä olisi kylpyhuone, joka olisi puolillaan veden peitossa. Huoneessa olisi kylpyamme, johon kiivetessään pelaaja pääsee poistumaan huoneesta. Lisäksi vedessä kelluisi paperiveneitä, joiden kanssa pelaaja voisi vuorovaikuttaa (kuva 15).

Usein yksinkertaiset ideat voivat sisältää monimutkaisempia suhteita, kun niitä alkaa toteuttaa. Alberton tapauksessa eräs merkittävä fysiikan vuorovaikutus oli veneen ja veden välillä, eli kelluminen. Kellumisen fysiikkaa ei ole erikseen toteutettu Unityn fysiikkamoottorissa, joten tämä tuli ohjelmoida itse. Sovelsin tässä hydrostaattisen paineen lakia, jolloin veneen upotessa syvemmälle veteen, siihen vaikuttava paine ja siten voima on sitä suurempi (ChemistryGod 2019). Tällöin kelluminen toteutuu varsin realistisesti. Huoneessa pelaaja voi myös poimia veneen ja upottaa sen veden alle. Päästäessään irti veneestä, se pongahtaa pinnalle, ja jää värähtelemään harmonisesti ja vaimenevasti veden pinnalle.

Omina lisäyksiä ohjelmoin veneet liikkumaan satunnaisesti veden pinnalla, mikä tuo hieman pelillisyyttä huoneeseen. Lisäksi muutin pelaajan näkökentän sinertäväksi pelaajan pään ollessa veden pinnan alapuolella, jotta veden immersio

olisi vakuuttavampi. Lisäksi veden pinta on vain läpikuultavan sinertävä taso, johon pelaaja ei pysty törmäämään. Veden simuloiminen aineena, joka käyttäytyisi fysiikan lakien tapaan, olisi laskennallisesti haastavaa.



KUVA 15. Alberton huone.

#### 6.4 Anna

Annan huone oli eräs työläimmistä sekä oivaltavimmista artistien huoneista. Annan visio huoneesta oli yökerho, jossa pelaajalla olisi kädessään älypuhelin. Puhelimessa näkyisi Annan akryylimaalauksia kuvitteellisella Instagram-tilillä, ja kuvia pystyisi selaamaan puhelimen ruutua koskettamalla.

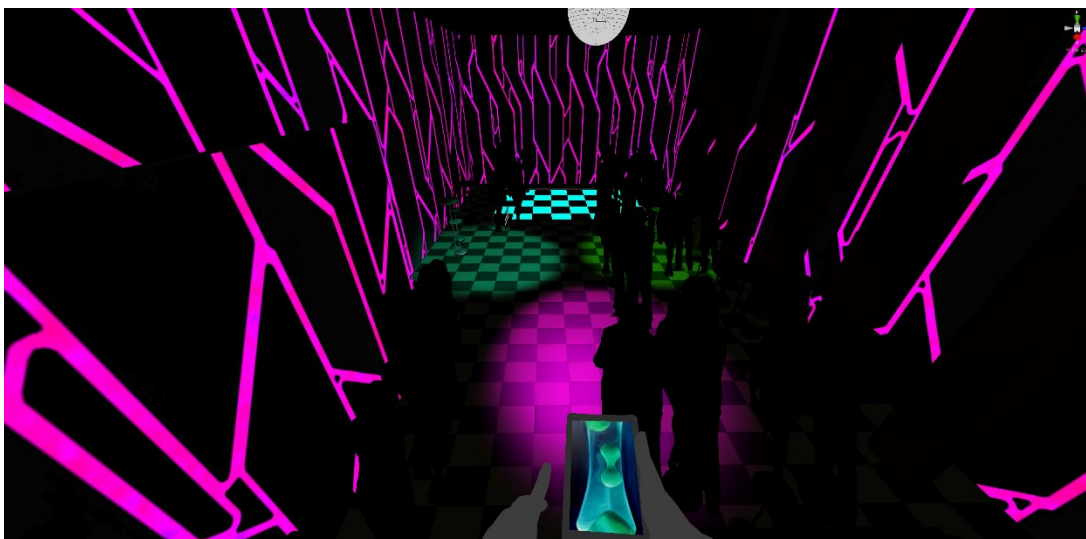
Huone oli työläs useammasta syystä. Yökerhoissa on paljon erilaisia objekteja, kuten jakkaroita, pöytiä ja ihmisiä, joten sen rakentaminen vei paljon aikaa. Lisäksi tärkeänä elementtinä yökerhoissa ovat välkkyvät valot ja musiikki, jotka vaativat omat toteutuksensa. Puhelimen ja kuvien selaamisen toteutuksessa sen sijaan ei tullut suurempia haasteita.

Yökerhon tunnelman aikaansaamiseksi päätin koodata pyörivät värikkäät kattovalot, sekä väriään vaihtavan tanssilattian. Tanssilattian laattoihin asetin emissiomateriaalit, jotka näkyvät kirkkaana riippumatta valaistuksesta. Nämä vievät myös vähiten muistia. Kattovalojen täytyi kuitenkin toimia reaaliaikaisesti, minkä

kanssa oli haasteita, sillä valot ovat peleissä merkittävin tekijä grafiikan laskemisessa. Toivottavaa olisi, ettei reaaliaikaisia valonlähteitä olisi enempää kuin yksi, ja muiden valonlähteiden valaistus olisi leivottu (baked) objektien materiaaleihin. Huoneen objektien ja materiaalien ollessa hyvin yksinkertaisia, ei kolmesta realistisesta valonlähteestä kuitenkaan koitunut suuria performanssihaasteita (kuva 16).

Edelliset haasteet ratkaistuani, yökerho näytti tunnelmalliselta mutta yksinäiseltä; sieltä puuttuivat ihmiset. Minulla ja projektin 3D-artistilla Minnalla ei ollut aikaa tai resursseja tehdä kolmiulotteisia ihmismalleja animaatioineen. Olin jo jättävinäni ihmiset toteutuksesta pois, kunnes keksin kokeilla tapaa, joka on ollut käytössä jo varhaisimmista 3D-videopeleistä eli billboardeja. Billboard tarkoittaa kolmiulotteisessa ympäristössä olevaa 2D-kuvaa, joka kääntyy aina pelaajaa kohti (Payne 2013). Tällöin kuva ei näytä koskaan litteältä ja pelaajan voi olla haastava huomata, että kyseessä olisi kaksiulotteinen objekti.

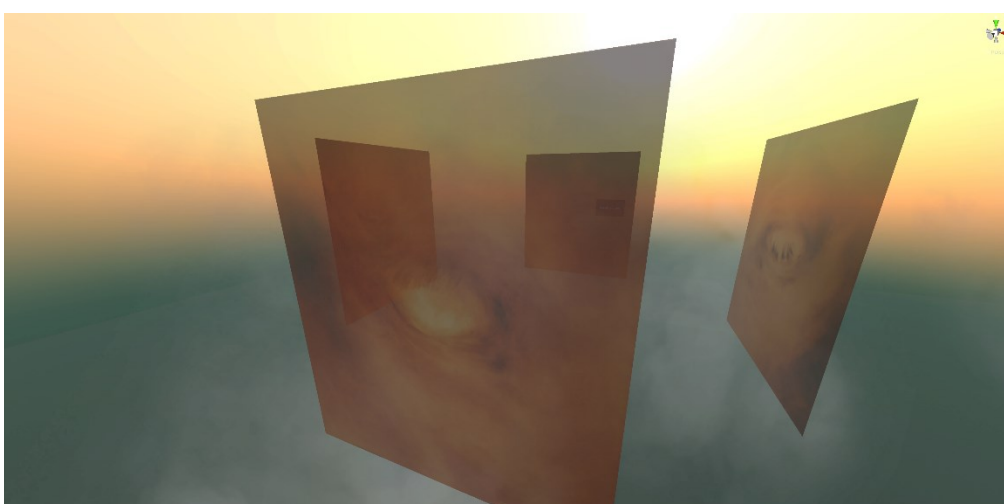
Tein billboardeja mustista ihmissilhouetteista, ja asettelin niitä ympäri yökerhoa. Koska yökerho on spottivaloja lukuun ottamatta täysin pimeää, ovat kaksiulotteiset ihmissiluetit yllättävän toimivat. Billboardien tekemiseen käytin Unityn Terrain-työkalua, jolla voi maalata maahan ruohoja, jotka toimivat valmiina billboardeina. Korvasin ruohotekstuurin mustalla ihmissiluetilla, ja ”maalasin” ihmisiä yökerhoon. Mainittaneen, että hauskinda toteutuksessa oli se, että ruoholla on asetuksensa tuulelle, joilla ne saadaan heilumaan. Tämä sopi käyttötarkoitukseen mainiosti, sillä tuulen asetuksella yökerhon ihmiset saatiin myös heilumaan samanaikaisesti, mikä näyttää tanssimiselta.



KUVA 16. Annan huone.

## 6.5 Aramis

Aramiksen huone oli eräs helpoimmista virtuaaligallerian huoneista, sillä Aramis ei halunnut erityisiä interaktioita huoneeseensa, vaan ainoastaan teoksensa leijumaan ilmassa läpikuultavina. Ympäristön ja tunnelman hän toivoi rauhalliseksi ja unenomaiseksi kuin auringonnousu. Toteutuksessa ei siten ollut suuria haasteita, ja suurin osa työstä olikin sumun muokkaamista oikeanlaisen tunnelman aikaansaamiseksi (kuva 17).

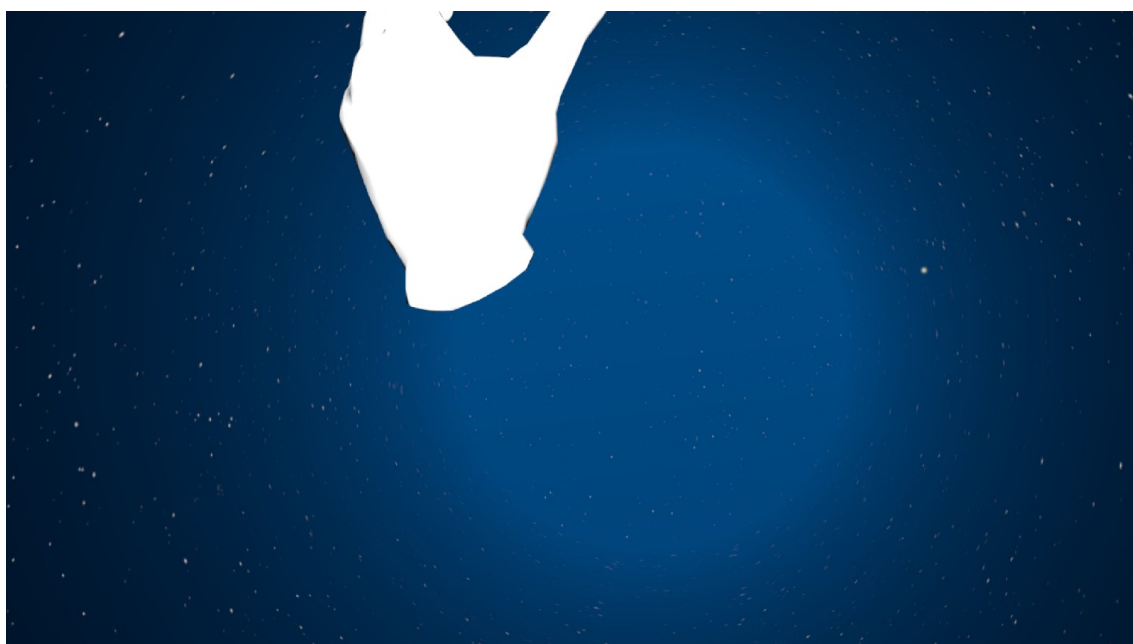


KUVA 17. Aramiksen huone.

## 6.6 Elina

Elinan huoneessa ei ollut kovin paljoa vuorovaikutuksia, mutta ympäristön ja hänen toivomien ilmiöiden toteuttaminen oli työlästä. Elina toivoi huoneensa maailman olevan tyhjiö, jossa pelaajan ympäröisi tähtitaivas ja hänen alapuolellaan olisi pieni lampi. Pelaaja itse olisi valopallo, joka heijastuisi lammen pinnasta, mutta pelaaja voisi myös sukeltaa lampeen. Lampi olisi syvä tunneli, ja vedessä leijuisi kimaltavia pölyhiukkasia. Kun pelaaja sukeltaisi syvemmälle pohjaan, hän ilmestyisi takaisin tähtitaivaalle, mistä matka alkoi (kuva 18).

Tiesin jo luettuani hänen toiveensa, etten tulisi saamaan huonetta yhtä kauniiksi kuin kuvailussa toivottiin. Elina oli kuitenkin ymmärtäväinen ja oli tyytyväinen siihen, että tekisin vain parhaani. Pelaajan lentäminen on huoneen pääinteraktio ja toteutin sen ensimmäisenä. Huomasin luontevimman tavan lentämiselle olevan käsiohjaimen osoittamisen haluttuun suuntaan ja painamalla määrättyä lentonappia, jolloin pelaajahahmolta poistetaan gravitaation vaikutus ja häntä siirretään käden osoittamaan suuntaan vakionopeudella. Näin pelaaja voi lentää haluamaansa suuntaan, myös alaspäin. Lentonapin vapauttamalla pelaaja tulee taas gravitaation alaiseksi ja putoaa maahan. Toteuttamani lentämisen fysiikka peleissä eroaa merkittävästi realistisesta lentämisestä, sillä pelaajalla ei ole kiihtyvyyttä, vaan liikkuu välittömästi vakionopeudella haluttuun suuntaan.



KUVA 18. Elinan huone.

## 6.7 Jasmin

Jasminin toive hänen huoneestaan oli öinen metsä, mutta muuten sain itse päättää lopusta toteutuksesta. Minua kiehtoi ajatus metsästä, johon voi eksyä, mutta musiikkia seuraamalla pelaaja voi löytää itsensä takaisin lähtöpaikkaan. Asetin siis huoneen musiikin kolmiulotteiseksi, jolloin pelaaja kuulee sen sitä vaimeammin mitä kauempana hän on äänen lähteestä. Äänen lähteen taas asetin pelaajan aloituspaikkaan. Jasminin teos sisälsi videoinstallaation, joten halusin asettaa tämän näkyviin myös aloituspaikkaan (kuva 19).

Suuria haasteita Jasminin huoneessa olivat optimointiongelmat. Halusin metsästä tarpeeksi suuren, jotta siihen voisi eksyä, mutta myös visuaalisesti hienot puut, jotta metsä näyttäisi tunnelmalliselta. Grafiikoiden laskemisen helpottamiseksi asetin huoneeseen sumua, sekä renderöimällä vain puut, jotka ovat tarpeeksi lähellä pelaajaa. Jasminin huoneessa ei ollut erityisiä vuorovaikutuksia esineiden kanssa, lukuun ottamatta pelaajahahmon törmäämistä puihin.



KUVA 19. Jasminin huone.

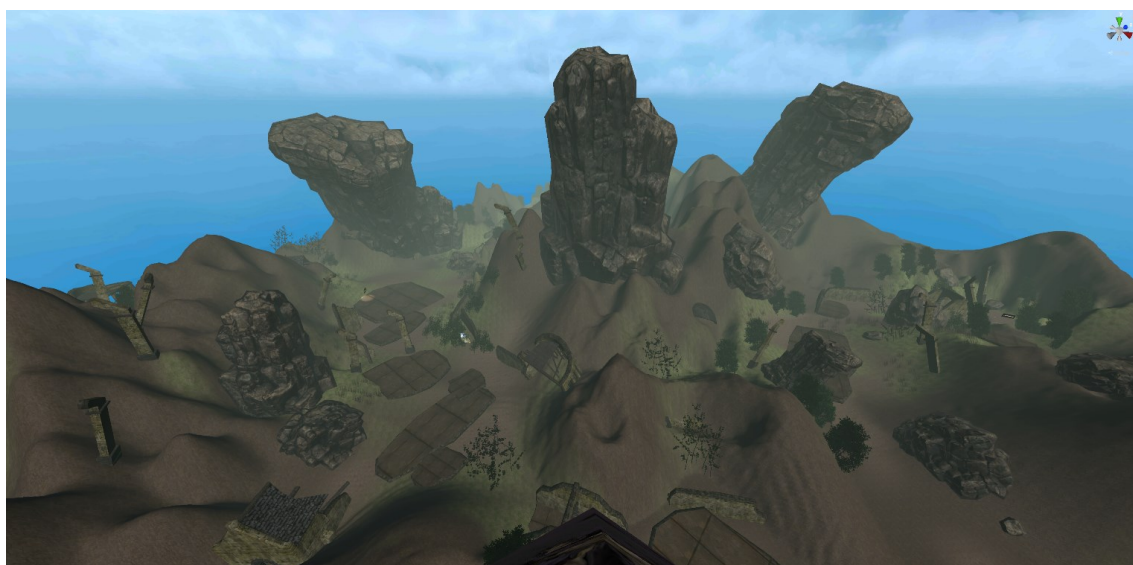
## 6.8 Jenny

Halusin kokeilla Oculus Questin suorituskyvyn rajoja, ja tämä oli mahdollista Jennyn huoneen toteutuksessa. Jenny halusi huoneensa olevan hylätty, metsän valtaama ja raunioitunut alue, jossa pelaaja voi kuulla vain tuulen ja lehtien kahinan.



Jennyn toiveet vuorovaikutuksista olivat yksinkertaista toteuttaa, mutta maailman luominen vei aikaa. Halusin huoneesta myös riittävän suuren, jotta pelaaja pääsisi tutkimaan ympäristöä, mikä tuntuisi seikkailulta (kuva 20).

Unityn Terrain-työkalulla loin maan muodot sekä vuoret, ja maalasin maailman tekstuurit. Maailman rakentamisessa käytin hankkimiani 3D-malleja raunioiden sekä kasvillisuuden lisäämiseen. Alustavana ideanani oli kerätä maailmaan kätkeyt aarteet, mikä avaisi yllätyksen, mutta luovuin ideasta ajan puutteen vuoksi. Kätkeyt arkut ovat kuitenkin asetettu huoneeseen, ja pelaaja voi vuorovaikuttaa näiden kanssa esineiden tapaan. Jennyn huoneeseen ei tullut erityisiä vuorovaikutuksia, mutta hypyn käyttö on ehdotonta, jos haluaa päästä tutkimaan maailman jokaisen kolkkan tai kiipeämään vuorten huipulle.



KUVA 20. Jennyn huone.

## 6.9 Minh

Minhin työn aiheena olivat kodittomat ihmiset. Hän oli valokuvannut kodittomia ihmisiä, ja koonnut kuvista kirjan, joka oli myös virtuaalitoteutuksessa huoneen pöydällä. Koska kirjaa ei voi virtuaalitoteutuksessa selailta, on osa kuvista asetettu nähtäville huoneen seinällä oleviin tauluihin. Seinän keskellä on televisio, jossa näkyy Minhin kuvaama video työn aiheesta. Huoneen tunnelma on lämmin ja kotoisa, minkä sain aikaiseksi lämpimillä valoilla ja materiaalien väreillä (kuva 21).

Huoneessa olevat vuorovaikutukset ovat pöydällä olevan kirjan sekä kahvikupin poimiminen. Lisäksi huoneen seinällä on valokatkaisija, josta kirkkaan ”päävalon” voi sammuttaa, jolloin huoneesta tulee hämärämpi ja tunnelmallisempi. Huoneen toteutuksessa ei ollut ongelmia videon optimointia lukuun ottamatta.



KUVA 21. Minhin huone.

## 6.10 Minna

Työryhmämme 3D artistina Minna oli myös eräs valmistuvista Fine Arts opiskelijoista. Hän halusi 3D artistin rooliin osaltaan siksi, että hänen työnsä hyödynsi AR teknologiaa sekä 3D malleja. Minnan virtuaalinen huone on rakennettu muistuttamaan oikeaa huonetta, joka rakennettiin myöhemmin galleria Himmelblaumiin. Minnan teoksessa käyttäjä pääsee Arilyn-sovelluksella tuomaan lisäsisältöä maailmaan katsomalla maalauksia puhelimen kameran kautta (kuva 22).

Pyrimme tekemään Minnan virtuaaliseen huoneeseen samat lisäsisällöt, mitä Arilyn-sovelluksella on nähtävissä. Vaikka vuorovaikutukset olivat selkeät toteuttaa, lisäsisällön toimiminen odotetulla tavalla tuotti haasteita. Assettien tuominen Arilynista Unityyn oli mahdotonta, joten nämä tuli tuoda suoraan Blenderistä. Siitä huolimatta osa animaatioista jouduttiin tehdä Unityssa uudestaan, ja 3D-objekteja joutui optimoimaan. Loppujen lopuksi Arilynilla nähtävät lisäsisällöt saatiin

luotua Unityyn, joiden näyttäminen virtuaalihuoneessa tapahtuu tauluja koskettamalla.



KUVA 22. Minnan huone.

### 6.11 Misa

Misan huoneeseen astuttuaan pelaaja ilmestyy lastenhuoneeseen. Sen yhdellä seinällä on Misan teos, joka tuo kontrastia muuten viattomaan ja värikkääseen huoneeseen. Lattialla on leluja, pöydällä palikoita sekä seinällä piirtotaulu kynineen (kuva 23).

Sekä testipelaajien että oman kokemukseni mukaan Misan huone onkin hauskin virtuaaligallerian huoneista, mikä johtunee huoneen monista ja monipuolisista vuorovaikutuksista. Lattialla olevia leluja voi heitellä, pöydällä olevista palikoista koota tornin, ja huoneesta löytyvillä kynillä voi piirtää. Erityisen hauskan piirtämisestä tekee se, että tussin jälki ei toimi ainoastaan piirtotauluun vaan myös huoneen seiniin ja Misan maalaukseen. Useat testaajat löysivätkin itsensä sotkemaissa seinällä olevaa taulua tai itse seiniä.

Vaikka Misan huoneen vuorovaikutukset ovat vaikuttavia, ei niiden luomisessa ollut suurempia ongelmia. Monet huoneen esineistä ovat käyttämästäni Unity laajennuksesta ja siten helposti implementoitavissa. Esimerkiksi piirtotaulu tusseineen oli lainattu VRIF-laajennuksen demosta.



KUVA 23. Misan huone.

## 6.12 Sandra

Sandran toive hänen huoneestaan oli kaupunki pilvenpiirtäjiineen, joista erään seinällä näkyy hänen tekemänsä video. Ilma on sateinen ja kaupungin neonvalot täyttävät ympäristön. Pelaaja on pilvenpiirtäjän katolla, josta hän voi katsoa Sandran tekemää videota viereisen rakennuksen seinältä (kuva 24).

Toisinaan pelejä tehdessä on hyvä käyttää aiemmin käytettyjä asetteja, kuten 3D-malleja, ja näin juuri tein Sandran huoneessa. Edelliseen virtuaaligalleriaan olin tehnyt kaupungin korkeine kerrostaloineen. Niinpä rakennuksia ei tarvinnut mallintaa uudestaan, vaan pystyin käyttämään aiempia rakennuksen malleja pienin materiaalimuunnoksin.

Koska huoneessa ei olisi ollut erityisen kiinnostavaa vuorovaikuttamista, halusin lisätä huoneeseen tavan tutkia ympäristöä. Lisäsin rakennuksen katolle rakettirepun, jolla pelaaja pääsee lentämään. Mielestäni sen käyttäminen on hauska tapa lentää ympäri kaupunkia ja käydä pilvenpiirtäjien katolla. Erityisen jännittävää Sandran huoneessa on kokeilla miltä tuntuu korkean rakennuksen katolta alas hyppääminen virtuaalitodellisuudessa.

Rakettireppu oli käyttämästäni VRIF-laajennuksesta valmis työkalu, joten vuorovaikutusten tekemisessä ei ollut ongelmia. Kaupungin tekeminen suureksi, muttei liian raskaaksi sen sijaan oli haastavampi ongelma. Myös valojen asettamisessa kohtasin muutamia haasteita.



KUVA 24. Sandran huone.

### 6.13 Soyoung

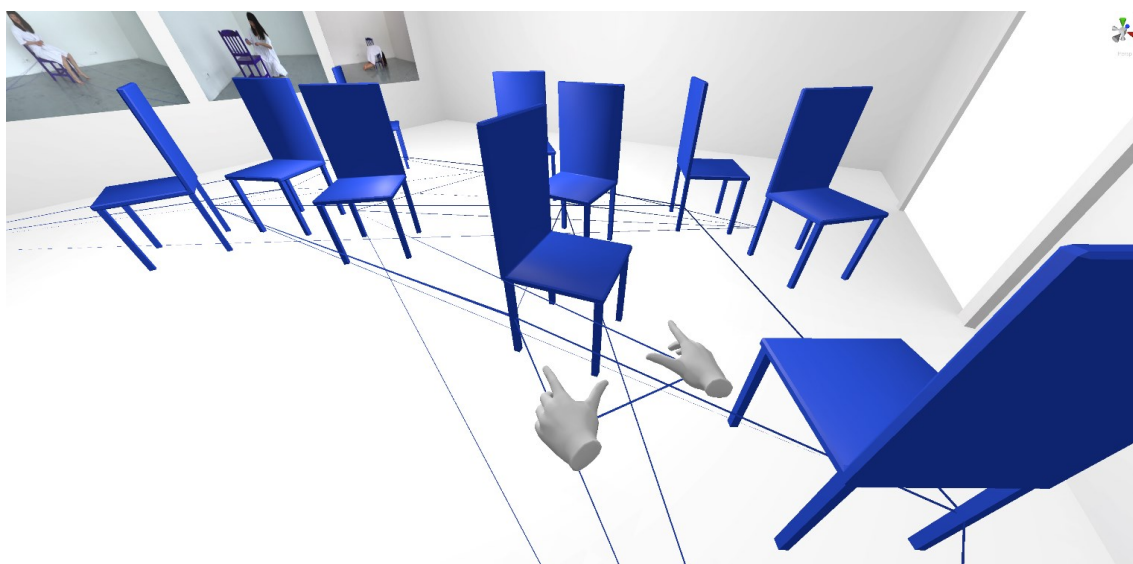
Hyvin tavallista pelikehityksessä on pelinkehittäjän ja asiakkaan (tässä tapauksessa opiskelijan) näkemys toteutuksesta ja näkemysten sovittamisessa. Asiakkaalla ei välttämättä ole ymmärrystä mikä on tehtävissä, eikä kehittäjällä taas samanlaista visiota siitä, mitä asiakas haluaa. (Minott 2020)

Soyoungin huoneen rakentamisessa kohtasin edellä mainittuja ongelmia. Soyoungin teoksessa on kuvattu performanssi, jossa keskeisenä elementtinä ovat siniset tuolit sidottuna toisiinsa sinisellä langalla. Tuolit ja langat ovat sekaisin valkoisessa huoneessa, jonka seinillä näkyy kohtauksia tehdystä performansista (kuva 25).

Suurin ongelma huoneessa ovat langat. Nämä ovat teknisesti varsin vaikeita toteuttaa peleihin siten, että ne käyttäytyisivät realistisesti fyysisen materiaalin tapaan. Ensimmäisessä versiossani tein langoista staattiset, ja ripustin niitä ympä-

ristöön. Käytännössä langat näyttivät aidoilta, mutta pelaaja ei pystynyt vuorovai-  
kuttamaan niiden kanssa. Näytettyäni idean Soyoungille, hän ei ollut ideaan riit-  
tävän tyytyväinen, sillä hän halusi lankojen liikkuvan tuolien mukana oikeiden lan-  
kojen tapaan.

Aikani aihetta pohdittuani löysin ratkaisun ongelmaan: asetin tuolien välille pis-  
teitä, jotka yhdistin sinisellä laservalolla. Tällöin valonsäde muodostuu dynaami-  
sesti pisteiden välille, vaikka tuolit liikkuisivat ja niiden etäisyydet muuttuisivat.  
Lisäksi laservalo näyttää kireälle vedetyltä siniseltä langalta, eikä pelaajan tar-  
vitse murehtia sotkeutumasta lankoihin, sillä ”lanka” menee esineiden läpi. Vas-  
taavien oikoteiden keksiminen on varsin yleistä peliteollisuudessa, sillä haluttu  
toteutus voi olla toisinaan erittäin vaikea toteuttaa sellaisenaan. Näytin toteutuk-  
sen Soyoungille, ja hän oli erittäin tyytyväinen huoneeseensa.



KUVA 25. Soyoungin huone.

#### 6.14 Tiina

Tiina oli tehnyt teokseensa animaation, joka oli nähtävissä huoneen seinällä.  
Huoneen keskellä on tietokone, jonka ruudulla näkyy toinen animaatio äänineen.  
Pelaajan lähestyessä tietokonetta animaatio nopeutuu ja ääni tulee yhä voimak-  
kaammaksi. Muuten valkoiseen huoneeseen tuo kontrastia vaaleanpunainen  
mekko naulakossa (kuva 26).

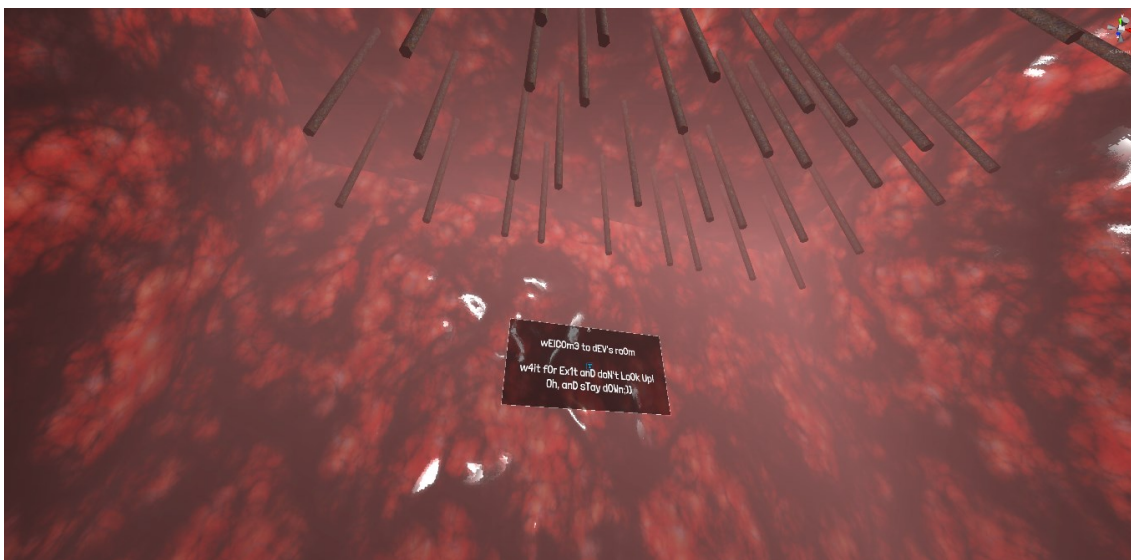
Huoneessa olevat fyysiset vuorovaikutukset olivat helppo toteuttaa; pelaaja pystyy poimimaan vain pöydällä olevan tietokoneen tai kahvikupin. Näiden lisäksi tein huoneeseen myös yhden triggerin. Triggerit tarkoittavat peleissä toteutunutta ehtoa, joka laukaisee sille koodatun tapahtuman. Tiinan huoneessa tällainen triggeri on pelaajan siirtyminen riittävän lähelle tietokonetta. Käytännössä tietokoneen ympärille muodostetaan suuri, näkymätön laatikko, joka reagoi siihen, kun pelaaja liikkuu laatikon sisälle. Kun näin tapahtuu, nopeutetaan tietokoneen näytöllä näkyvää animaatiota sekä kasvatetaan animaation äänenvoimakkuutta. Muiden vuorovaikutusten tekemisessä ei ollut suurempia haasteita.



KUVA 26. Tiinan huone.

### 6.15 DevRoom

Kuten pelikehittäjillä on tapana, halusin tehdä galleriaan myös oman huoneen. Huonetta ei kuitenkaan löydä kovin helposti, sillä huoneen ei ole tarkoitus olla osa varsinaista galleriaa, vaan eräänlainen yllätys. Erityisesti halusin testata huoneessa materiaaleja käyttämästäni materiaalilisäosasta sekä tutkia VR:n kauhu-potentiaalia. Huone on pieni, josta pelaajalla ole pääsyä ulos, minkä lisäksi huoneen katto liikkuu uhkaavasti alas kohti pelaajaa (kuva 27). Viime hetkellä lattiasta nousee kuitenkin kyltti, jolla pelaaja pääsee poistumaan huoneesta.



KUVA 27. Kehittäjän salainen huone.



## 7 AVAJAISET HIMMELBLAUSSA

VR-galleria valmistui keväällä 2021 ja sen oli tarkoitus olla osana Kaleidoscopers-avajaisia galleria Himmelblausa samana keväänä. Avajaiset kuitenkin siirtyivät ja ne pidettiin marraskuussa 2021 (Grafiikanpaja Himmelblau 2021). Galleriassa oli esillä Fine Arts -opiskelijoiden lopputyöt sekä tehty virtuaaligalleria. Galleriaan oli tuotu näyttö, jossa näytettiin pelidemoa valmiista galleriasta ja sen huoneista. Olin itse paikalla galleriassa virtuaalilasien kanssa, sillä halusin artistien pääsevät käymään heidän virtuaaligallerian huoneissaan. Halusin kehittää virtuaaligallerian juuri Oculus Questille, jotta sen esittäminen olisi helppoa eri tapah- tumissa, kuten gallerian avajaisissa.

Koronapandemian vuoksi jouduin kuitenkin tekemään toimenpiteitä, jotta lasit saivat olla testattavana vierailijoilla. Vaihdoin laseihin kertakäyttösuojan, sekä desinfioin lasit ja ohjaimet jokaisen käytön jälkeen. Olin myös itse vastuussa lasien esittelemisestä vierailijoille ja VR-lasien käytön opastamisessa kokemattomammille.

Aluksi monet gallerian vieraista eivät uskaltaneet tai halunneet kokeilla laseja, joten kävin houkuttelemassa muutamia artisteja testaamaan. Parin testaajan jälkeen yhä useampi henkilö uskaltautui kokeilemaan ja odottamaan vuoroaan. Erään artistin lapsetkin pääsivät kokeilemaan laseja ja olivat niistä innoissaan. Pääsin juttelemaan testaajien kanssa myös VR-kehityksestä sekä heidän kokemuksistaan virtuaaligalleriassa. Palautteen perusteella mielenkiintoisimmat huoneet olivat Jennyn huone suurehkon maailman vuoksi, lentäminen Sandran huoneessa, sekä Misan huoneessa tusseilla sotkeminen.

## 8 POHDINTA

### 8.1 Vuorovaikutukset

Vuorovaikutusten tutkiminen virtuaalitodellisuudessa on kiehtonut minua, sillä pohjimmiltaan kyse on siitä, kuinka reaali maailman fysiikan ilmiötä voidaan mallintaa pelin sisällä. Fysiikkamoottorit hoitavat usein kaikki pelimaailman aiheuttamat vuorovaikutukset, mutta pelaajan aiheuttamat vuorovaikutukset ovat kehittäjän vastuulla.

Immersion lisääminen entisestään lienee VR-kehityksen suurimpia haasteita. Kun todellisessa maailmassa henkilö nostaa laatikon, täytyy nostovoiman kumota Maan aiheuttama gravitaatiovoima eli laatikon paino. Samalla laatikon tukivoima painaa henkilön kämmeniä yhtä suurella ja vastakkaissuuntaisella voimalla, mikä on havaittavissa puristuksena kämmenissä. Juuri tämä vuorovaikutuksen symmetrisyys puuttuu virtuaalipeleistä. Vaikka pelaaja aiheuttaa virtuaaliseen laatikkoon keinotekoisen voiman, ei virtuaalinen objekti aiheuta pelaajaan vastaavaa voimaa. Tämä johtuu siitä, ettei sillä ei ole massaa, minkä vuoksi kaikkien esineiden poimiminen ja käyttäminen tuntuu samanlaiselta virtuaalitodellisuudessa.

Vaikka pelaajaan kohdistuva voima pystyttäisiin helposti laskemaan, olisi virtuaalisen vuorovaikutusvoiman tekninen toteutus varsin hankalaa. Tämä vaatisi esimerkiksi vaijereita pelaajan käsistä laitteeseen, joka voisi vetää vaijeria oikeassa kulmassa, ja siten simuloida pelaajan käsiin kohdistuvaa vuorovaikutusvoimaa. Mixed Reality -sovelluksissa voidaan käyttää reaali maailman esineitä siten, että ne ovat osana virtuaalista maailmaa, mutta vuorovaikutukset ovat tässä tapauksessa kuitenkin aitoja.

Vaikka VR-sovellusten tavoitteena on saada pelaaja uppoutumaan virtuaaliseen ympäristöön, sama pätee myös toiseen suuntaan: tavoitteena on saada pelaaja unohtamaan todellinen ympäristö. Esimerkiksi Maan tukivoima aiheuttaa immersiohaasteita, sillä pelaaja tuntee lattian jalkojensa alla, vaikka VR-pelissä hän

olisi putoamassa tai hyppäämässä. Maan tukivoiman vaikutuksen poistaminen olisi erittäin haastavaa ellei mahdotonta.

## 8.2 Virtuaaligalleria Kaleidoscopers

Vaikka VR-kehitys on vielä alkuvaiheissa, siitä on hiljalleen tullut yhä helpompaa teknologian ja työkalujen kehittyessä. Esimerkiksi käyttämäni Unity VRIF-laajenuksen vuoksi virtuaalitodellisuuden vuorovaikutuksia oli yksinkertaista toteuttaa, eikä koodiin tarvinnut paljoa koskea, sillä toiminnallisuudet voitiin rakentaa suoraan Unity-pelimoottorissa.

Virtuaaligalleriasta saadun palautteen perusteella piirtäminen ja lentäminen olivat hauskimmiksi koettuja vuorovaikutuksia. Molemmissa tapauksissa kyseessä on tunne vapaudesta tehdä mitä haluaa. Kun pelaaja pääsee rikkomaan sääntöjä tai tekemään asioita, joita ei oikeassa elämässä sallittaisi, esimerkiksi piirtämään tussilla seiniin, se huvittaa pelaajaa. Monet VR-pelit itse asiassa perustuvatkin tällaiseen kaoottisuuteen ja rajojen rikkomiseen. Esimerkiksi Blade and Sorcery -pelissä pelaajan kimppuun hyökkää vihollisia, mutta pelaajalla on käytössään monenlaisia aseita nyrkeistä lasermiekkoihin. Pelin hauskuus onkin siinä, millä eri tavoilla ja esineillä pelaaja pystyy päihittämään viholliset. Viholliset eivät ole myöskään haastavia, jolloin pelaaja voi tuntea itsensä ylivoimaiseksi. Tämä ylivoimaisuus ei kuitenkaan ole mitään uutta, sillä virtuaalitodellisuudessa pelaajat olettavatkin heidän roolihahmollaan olevan ylivoimaisia kykyjä, eikä hahmon rajoja tarvitse erikseen tutkia (Musings Of A Mario Minion 2018).

Kaiken kaikkiaan vuorovaikutusten tutkiminen osana Kaleidoscopers-hanketta oli opettavaista ja opin VR-kehityksestä varsin paljon. Haluan lopuksi kiittää koko työryhmääni, hankkeen vastuuhenkilöä Fanny Niemi-Junkolaa, 2D/3D-artisti Minna Annolaa, sekä musiikin tuottajia Eetu Tähtistä ja Vincent Masea. Lisäksi haluan kiittää Mediapolista hankkeen järjestämisestä, Kaleidoscopers näyttelyn artisteja sekä muita osallisia. Vaikka työryhmämme oli pieni, virtuaaligalleria saatiin valmiiksi määräajassa haluttuine ominaisuuksineen. VR-galleria Kaleidoscopers on julkaistu myös GitHub-sivullani, josta se on ladattavissa omille Oculus Quest -laseille näin halutessaan.

Lopuksi toivon opinnäytetyöni olevan hyödyllinen VR-kehityksestä ja -vuorovai-  
kutuksista kiinnostuneille sekä erityisesti tuleville VR-kehittäjille. Lisäksi toivon  
Kaleidoscopers-virtuaaligallerian myös olevan antoisa kokemus sitä testaaville ja  
antavan poikkeuksellisen tavan tutustua artistien töihin. Koska VR-kehitys muut-  
tuu jatkuvasti, ovat tällä hetkellä käyttämäni työkalut luultavasti vanhentuneet  
muutaman vuoden sisällä. Olkoonkin opinnäytetyöni lisäksi katsaus siihen, mil-  
laista VR-kehitys on ollut, ja voiko ratkaisuitani löytyä jotain hyötyä tuleviin on-  
gelmiin VR-sovellusten kehityksessä.

## LÄHTEET

Rouse, M. 2022. Virtual Reality (VR). Viitattu 29.3.2022. <https://www.techopedia.com/definition/4784/virtual-reality-vr>

Bostan, B. 2006. Interaction In Virtual Reality. 4th International Symposium of Interactive Medial Design (ISIMD). Viitattu 4.4.2022. [https://www.academia.edu/2837076/Interaction\\_In\\_Virtual\\_Reality](https://www.academia.edu/2837076/Interaction_In_Virtual_Reality)

Dexter, A., Ridley, J. 2022. The best VR headset in 2022. Viitattu 29.3.2022. <https://www.pcgamer.com/best-vr-headset/>

Murphy, M. 2020. Coronavirus sent us home. Will VR bring us back together? Viitattu 24.2.2022. <https://www.protocol.com/vr-headset-future-of-work>

IDC. 2022. AR/VR Headset Shipments Grew Dramatically in 2021, Thanks Largely to Meta's Strong Quest 2 Volumes, with Growth Forecast to Continue, According to IDC. Tulostettu 29.4.2022. <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS48969722#:~:text=NEED-HAM%2C%20Mass.%2C%20March%2021,Quarterly%20AR%2FVR%20Headset%20Tracker.>

Kuchera, B. 2019. The Oculus Quest is virtual reality's next big leap forward. Tulostettu 20.4.2022 <https://www.polygon.com/reviews/2019/4/30/18521409/oculus-quest-review-virtual-reality>

Unreal Engine. Blueprints Quick Start Guide. Viitattu 29.4.2022. <https://docs.unrealengine.com/5.0/en-US/quick-start-guide-for-blueprints-visual-scripting-in-unreal-engine/>

Yang LI, Jin HUANG, Feng TIAN, Hong-An WANG, Guo-Zhong DAI, Gesture interaction in virtual reality, Virtual Reality & Intelligent Hardware, Volume 1, Issue 1, 2019, Pages 84-112, ISSN 2096-5796, <https://doi.org/10.3724/SP.J.2096-5796.2018.0006>

Hansson, T. N.D. Perusvuorovaikutukset. Viitattu 29.4.2022. <http://www.fyma.eu/mikro/vuorovaikutukset.pdf>

Simone L. 2020. The Standard Model Part 3: Enter the Forces. Tulostettu 1.5.2022. <https://swimone21.medium.com/the-standard-model-part-3-enter-the-forces-73b3dd1d01d6>

Lefky, A., Gindin, A. 2007. Acceleration Due to Gravity: Super Mario Brothers. Viitattu 30.4.2022. <https://hypertextbook.com/facts/2007/mariogravity.shtml>

Brennan, D. 2017. Free UE4 Template Makes Creating More Realistic VR Hands a Snap. Tulostettu 30.4.2022. <https://www.roadtovr.com/uvrf-aims-make-creating-hand-presence-easier-new-open-source-framework-unreal-engine/>

- Boletsis, C. 2017. The New Era of Virtual Reality Locomotion: A Systematic Literature. Review of Techniques and a Proposed Typology. Viitattu 29.4.2022. <https://www.mdpi.com/2414-4088/1/4/24>
- Hunt, K. 2017. Forestry review: Being a lumberjack has never been so fun. Tulostettu 8.4.2022. <https://www.vrheads.com/forestry-review>
- Mitrak, A. 2021. HaptX launches HaptX Gloves DK2 to bring true-contact haptics to VR and robotics. Tulostettu 29.4.2022. <https://haptx.com/dk2-release/>
- Caddy, B. 2022. This haptic glove lets you feel the virtual reality metaverse. Viitattu 12.4.2022. <https://www.techradar.com/news/this-haptic-glove-lets-you-feel-the-virtual-reality-metaverse>
- Graham, P. 2021. Tesla Suit. Tulostettu 6.1.2022. <https://www.vrfocus.com/2021/10/somnium-space-expands-metaverse-ambitions-with-teslasuit-investment/>
- Ambalina, L. 2020. Are Haptic Suits the Future of VR? Viitattu 1.4.2022. <https://medium.com/super-jump/are-haptic-suits-the-future-of-vr-c7b52d573935>
- Sam U. 2021. Best VR Bodysuits to Buy. Viitattu 6.1.2022. [https://linuxhint.com/best\\_vr\\_bodysuits/](https://linuxhint.com/best_vr_bodysuits/)
- Haskins, S. 2021. "Omni One" Virtual Reality Treadmill Continues to Attract Investors. Viitattu 6.1.2022. <https://www.vrfitnessinsider.com/omni-one-virtual-reality-treadmill-continues-to-attract-investors/>
- Omni by Virtuix. N.D. Etusivu. Viitattu 6.1.2022. <https://invest.virtuix.com/>
- Courtney. 2021. 4 Best VR Shoes in 2021. Viitattu 6.1.2022. <https://thetechinfluencer.com/best-vr-shoes/>
- ChemistryGod. 2019. Hydrostatic Pressure. Viitattu 20.4.2022. <https://chemistrygod.com/hydrostatic-pressure>
- Payne, P. 2013. Billboards. Viitattu 20.4.2022. <https://relativity.net.au/gaming/java/Billboard.html>
- Minott, Z. 2020. What You Should Do Instead of Saying a Programming Task Can't Be Done. Viitattu 12.4.2022. <https://betterprogramming.pub/what-you-should-do-instead-of-saying-a-programming-task-cant-be-done-d1694e41e11d>
- Grafiikanpaja Himmelblau. 2021. Galleria Himmelblau ylpeänä esittää Tampereen ammattikorkeakoulusta valmistuvien taiteilijoiden lopputyökatselmuksen. Viitattu 20.4.2022. <https://himmelblau.fi/galleria-himmelblau-ylpeana-esittaa-tampereen-ammattikorkeakoulusta-valmistuvien-taiteilijoiden-lopputyokatselmuksen/>
- Musings Of A Mario Minion, 2018. Virtual Reality And The Player-Character Relationship. Viitattu 20.4.2022. <https://arvrjourney.com/virtual-reality-and-the-player-character-relationship-643de805e1e2>