



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# LIKKUMINEN VIRTUAALITODELLISUUDESSA

Case Muumi-Talo

Noora Malmi

Opinnäytetyö  
Marraskuu 2018  
Tietojenkäsittely  
Pelituotanto



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tietojenkäsittely  
Pelituotanto

MALMI, NOORA:  
Liikkuminen virtuaalitodellisuudessa  
Case Muumi-Talo

Opinnäytetyö 56 sivua  
Marraskuu 2018

---

Opinnäytetyössä luotiin virtuaalitodellisuuteen ympäristö 3D-mallinnetulle Muumi-Talo-teokselle. Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Muumimuseo. Tavoitteena oli löytää teokseen sopivimmat liikkumistavat. Työn tarkoituksena oli tutkia olemassa olevien virtuaalitodellisuusprojektien liikkumistapoja ja Muumi-Taloa ympäristönä. Lisäksi pohdittiin, mitä haasteita tulee vastaan, kun projekti toteutetaan museon tiloihin. Liikkumistavoista tahdottiin helposti opittavia ja mahdollisimman vähän kyberpahoinvointia aiheuttavia. Virtuaalitodellisuuteen liittyvissä tiedoissa käytettiin enimmäkseen painettuja lähteitä ja VR-projektien tutkimisessa verkkolähteitä. Projekti kehitettiin HTC Vive -virtuaalitodellisuusjärjestelmälle käyttäen Unity-pelimoottoria.

Virtuaalitodellisuuden liikkumistavat pystyttiin jakamaan neljään kategoriaan: teleporttaaminen, ohjaimella liikkuminen, vapaa liikkuminen ja paikallaan liikkuminen, joista kaksi ensimmäistä ovat keinotekoisesti ohjaimen avulla liikkumista ja kaksi viimeistä fyysistä liikkumista. Muumi-Taloon valittiin pääsääntöiseksi liikkumistavaksi teleporttaaminen, jolla pystytään siirtymään teoksen sisällä paikasta toiseen ohjaimella tähtäämällä. Työhön kehitettiin mahdollisuus katsoa teosta ulkoapäin pilvellä, jota liikutetaan painamalla ohjaimen painiketta pohjaan. HTC Vive laitteena mahdollisti myös vapaasti liikkumisen, jonka avulla käyttäjät pystyvät fyysisesti kävelemään talossa rajatulla alueella.

Virtuaalitodellisuuteen kehitettäessä tuli vastaan paljon ongelmia, joista suurimmat olivat kokemattomien käyttäjien tutustuttaminen keinotekoisiiin liikkumistapoihin, kyberpahoinvoinnin mahdollisuuden minimoiminen ja teoksen ahtaat tilat. Kaikkia ongelma-kohtia ei pystytty korjaamaan, mutta niihin esitettiin parannuskeinoja jatkokehitystä varten.

## **ABSTRACT**

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

MALMI, NOORA:  
Locomotion in Virtual Reality  
Case of the Moomin-House

Bachelor's thesis 56 pages  
November 2018

---

The objective of this thesis was to implement the best virtual reality locomotion types for the 3D modeled Moomin-House artwork. The thesis was commissioned by the Moomin Museum. The purpose was to study different movement options in virtual reality projects, to examine the Moomin-House as an environment, and to find out the challenges of developing for a museum. The selected loco-motion types should be easy to learn to use and avoid causing cybersickness. This project utilized a case study approach.

The locomotion techniques were categorized into four types: teleportation-based, controller-based, room scale-based and motion-based. The primary locomotion type implemented was the teleportation-based click-and-point movement. In addition to moving inside the house, the user can also view the artwork from above using a cloud. Controller-based movement was implemented with the cloud. The third locomotion technique was room scale-based allowing users to physically move in a limited space.

The biggest challenges encountered were introducing artificial movement to inexperienced users, minimizing cybersickness and the narrow spaces of the Moomin-House. All the problems could not be entirely solved, but were presented with possible solutions.

---

Key words: virtual reality, vr, movement, museum, moomin-house

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	VIRTUAALITODELLISUUS .....	7
	2.1 Mitä virtuaalitodellisuus tarkoittaa .....	7
	2.2 VR-laitteet.....	8
	2.3 HTC Vive.....	9
	2.4 Virtuaalitodellisuus museoissa .....	11
3	MUUMI-TALOVR .....	15
	3.1 Muumi-Talo .....	15
	3.2 Mobiilisovellus .....	17
	3.3 Mobiilisovelluksesta VR-ympäristöksi.....	18
4	ERILAISIA TAPOJA LIIKKUA VR:SSÄ .....	20
	4.1 VR:ssä liikkuminen.....	20
	4.2 Kyber-pahoinvointi .....	21
	4.3 Teleporttaaminen .....	22
	4.4 Ohjaimella liikkuminen .....	26
	4.5 Vapaa liikkuminen .....	30
	4.6 Paikallaan liikkuminen .....	32
5	LIIKKUMINEN MUUMI-TALOSSA.....	36
	5.1 Muumimuseo ympäristönä .....	36
	5.2 Talon sisällä liikkuminen.....	36
	5.3 Pilvellä talon ympäri .....	42
	5.4 Vapaa kulkeminen .....	45
	5.5 Ohjeet hyvin näkyville.....	47
6	POHDINTA.....	52
	LÄHTEET.....	54

**LYHENTEET JA TERMIT**

3D-malli	kolmiulotteinen tietokoneella tehty malli
immersio	virtuaalimaailmaan syventymisestä tuleva läsnäolon tunne
kiintopiste	yleensä paikallaan käyttäjään nähden pysyvä objekti, johon käyttäjän katse pystyy keskittymään
kyber-pahoinvointi	liikepahoinvoinnin osamuoto
pelimoottori	ohjelmistokehys, jonka päälle pystyy kehittämään projekteja
teleportaaminen	siirtyminen paikasta toiseen usein välittömästi
törmäyspinta	pinta, joka havaitsee törmäyksiä muiden objektien kanssa
virtuaalitodellisuus, VR	kolmiulotteinen tietokoneella luotu ympäristö, jota pystyy katsomaan virtuaalitodellisuus-lasien kautta
VR-alue	fyysinen rajattu alue, jolla käyttäjä pystyy liikkumaan

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aihe on liikkuminen virtuaalitodellisuudessa ja sen tavoitteena on suunnitella sopivimmat liikkumistavat Muumi-TaloVR-projektiin. Muumi-TaloVR on helmikuussa 2018 aloitettu projekti, jossa käyttäjä pääsee virtuaalitodellisuuden kautta tutustumaan Muumi-Taloon, joka on Tuulikki Pietilän, Tove Janssonin ja Pentti Eistolan rakentama pienoismalli. Projekti on tehty Muumimuseolle ja museo toimii opinnäytetyön toimeksiantajana. Työssä luotiin kolme erilaista liikkumistapaa 3D-mallinnetulle Muumi-Talolle ja sen ympäristölle.

Virtuaalitodellisuudessa on kymmeniä erilaisia tapoja liikkua, jotka pystytään jakamaan neljään eri kategoriaan: teleporttaaminen, ohjaimella liikkuminen, vapaa liikkuminen ja paikallaan liikkuminen. Opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella jo olemassa olevia liikkumistapoja erilaisista VR-projekteista ja pohtia, mitkä niistä sopivat parhaiten museoon ja Muumi-Taloon ympäristöinä. Työssä selitetään ensin, mitä virtuaalitodellisuus on ja miten sitä hyödynnetään museoissa. Seuraava kappale keskittyy Muumi-Taloon ja siitä aiemmin tehtyyn mobiilisovellukseen. Neljännessä kappaleessa vertaillaan erilaisia liikkumistapoja ja selitetään mitä niihin vahvasti liittyvä kyber-pahoinvointi on ja miten sitä voidaan ehkäistä. Viidennessä kappaleessa kerrotaan, mitä liikkumistapoja Muumi-Taloon valittiin ja miksi. Lopuksi pohdintaosiossa arvioidaan projektin onnistumista ja jatkokehitysmahdollisuuksia.

Opinnäytetyöstä on hyötyä VR-projekteja ja museoon sovelluksia kehittäville tahoille. Työ keskittyy kertomaan liikkumistavoista käytännöntasolla, eikä kerro kuinka liikkuminen toteutettiin teknisesti. Projekti on tehty HTC Vive -VR-järjestelmälle käyttäen Unity-pelimoottoria.

## 2 VIRTUAALITODELLISUUS

### 2.1 Mitä virtuaalitodellisuus tarkoittaa

Virtuaalitodellisuus (englanniksi virtual reality), lyhennettynä VR, on kolmiulotteinen tietokoneella luotu ympäristö, jonka kanssa käyttäjä pystyy vuorovaikuttamaan. Ympäristö voi pyrkiä olemaan mahdollisimman todentuntuinen tai täysin kuvitteellinen, ja sen päämäärä on käyttäjän immersio eli uppoutuminen virtuaalimaailmaan. (Reality Technologies n.d.) Virtuaalitodellisuutta pystyy kuvailemaan kolmella i-kirjaimella alkavalla sanalla: immersion, interaction ja imagination eli uppoutuminen, vuorovaikuttaminen ja mielikuvitus (Burdea 1999). Yleensä virtuaalimaailmaa katsotaan erityisesti sitä varten tehtyjen virtuaalitodellisuuslasien eli VR-lasien kautta, jolloin ympäristö levittäytyy silmien eteen saumattomasti (Reality Technologies n.d.).

Immersio tarkoittaa aistimusta, että on fyysisesti läsnä epäfyysisessä paikassa. Mitä enemmän aistit tuntevat läsnäoloa, sitä täydellisempi immersio on ja sitä vahvemmin ihminen uskoo olevansa jossain, missä ei oikeasti ole. Virtuaalitodellisuus ei aina pyri täydelliseen immersioon, vaan on olemassa simulaatioita, jotka pyrkivät yhdistelemään todellista maailmaa ja VR:ää. (Reality Technologies n.d.) Immersioon pääsee myös ilman virtuaalitodellisuutta. Videopeleissä siihen pyritään uskottavalla ja johdonmukaisella pelimaailmalla, mukaansatempaavalla tarinalla sekä minimoimalla käyttöliittymiä ja latausruutuja. (Madigan 2012.) Vuorovaikuttaminen virtuaalimaailman kanssa on tärkeä osa virtuaalitodellisuutta, sillä immersio vahvistuu kun käyttäjä pystyy jollakin tavalla vaikuttamaan maailmaan. Vuorovaikuttamista voi olla käyttäjän liikkuminen virtuaalimaailmassa ja pään liikkeet, mutta lähinnä sillä tarkoitetaan käsillä tehtäviä liikkeitä ja virtuaalisten objektien liikuttamista. (Reality Technologies n.d.)

Virtuaalitodellisuutta käytetään muun muassa peleissä ja virtuaalimaailmoissa, opetuksessa, tuotteiden myymisessä ja jopa arkkitehtuurissa (Parisi 2015, 8). VR on yleisty-mässä myös museoissa tarjoten mahdollisuutta liikkua ympäri museota tietokoneen välityksellä, ja tarkastella taideteoksia läheltä ja joka suunnasta hiirtä käyttämällä. Taideteokset voivat myös ”herätä henkiin” kuten Suomen Kansallismuseossa R. W. Ekmanin taulu ”Keisari Aleksanteri II julistaa vuoden 1863 säätyvaltiopäivät avatuiksi”, jonka

kuvaamaa tilannetta museon vierailija pystyy tarkkailemaan VR-lasien kautta. Vierailija voi jopa keskustella taulun hahmojen kanssa. (Cigainero 2018.)

## 2.2 VR-laitteet

Tärkein osa virtuaalitodellisuutta on jatkuva kolmiulotteinen näkymä syvyysvaikutelmalla. Tämän mahdollistavat VR-lasit (HMD) ja 3D-näytöt (3D display). Silmien eteen tulevat VR-lasit ovat kiinni pään ympärillä ja kummallekin silmälle on oma pieni näyttönsä. Osa VR-laseista toimii vain tietokoneeseen tai tiettyyn pelikonsoliin kytkettynä ja osa älypuhelimien kanssa yhdistettynä. VR-laseja löytyy markkinoilta monen tyyliä ja hintaisia; laseista, joissa on kiinni kuulokkeet ja liikkeentunnistimet pahvista tehtyihin Google Cardboard -laseihin. (Parisi 2015, 3–5.) Myydyimmät VR-lasit vuonna 2017 olivat älypuhelimien kanssa toimivat Google Cardboard, Samsung GearVR ja Google Daydream View, vain PlayStation-järjestelmän kanssa toimiva Sony PlayStation VR, ja liikkeentunnistimilla varustetut HTC Vive ja Oculus Rift (Statista 2017). Toinen tärkeä ominaisuus VR:ssä on pään liikkeen tunnistus, niin että käyttäjä pystyy päättään kääntelemällä katselemaan ympärilleen kuten oikeassa maailmassa. Jos näkymä ei liiku samassa tahdissa käyttäjän pään liikkeen kanssa, immersio saattaa kadota ja käyttäjä kokea pahoinvointia. (Parisi 2015, 3–5.)

VR-lasit ja kuulokkeet auttavat simuloimaan näkö- ja kuuloaisteja, mutta virtuaalitodellisuus pyrkii tuomaan ihmisten muutkin aistit, varsinkin tuntoaistin, mukaan virtuaalimaailmaan. Erilaiset syöttölaitteet (input device) mahdollistavat virtuaalimaailmassa koskettamisen ja liikkumisen. (Reality Technologies n.d.) Koska VR-lasit yleensä estävät ihmistä näkemästä oikeaa maailmaa, ei hän siksi pysty kunnolla käyttämään tietokoneen näppäimistöä ja monimutkaisia ohjaimia (Parisi 2015, 23). Virtuaalitodellisuudessa käytettävät syöttölaitteet voivat olla esimerkiksi kädessä pidettäviä peliohjaimia, hanskoja ja jalkojen liikkeitä tunnistavia juoksumattomaisia laitteita (Reality Technologies n.d.). Ohjaimilla ja hanskoilla ihminen pystyy koskettamaan virtuaalimaailman esineitä ja ne pystyvät simuloimaan kosketuksen tunteen käyttäen haptista teknologiaa esimerkiksi värisemällä tai ottamalla vastaan. Virtuaalista esinettä kädessä pitäessä siitä pystyy parhaimmillaan tuntemaan sen painon, muodon ja jopa sen pinnan liukkauden. (Burdea 1999.)



Sijainnin tunnistustekniikkaa (positional tracking) käytetään VR-lasien ja syöttölaitteiden sijainnin jäljittämiseen, joka mahdollistaa virtuaalimaailmassa liikkumisen fyysisesti. Sijainnin tunnistusjärjestelmiä on erilaisia. Optiset järjestelmät käyttävät usein kameeroita ja heijastavista materiaaleista tehtyjä pisteitä, jotka kiinnitetään käyttäjään. Muut järjestelmät saattavat käyttää magneetteja, kiihtyvyyssantureita tai gyroskooppeja käyttäjän sijainnin selvittämiseen. Sijainnin tunnistusjärjestelmät auttavat parantamaan immersiota, koska käyttäjä voi parhaimmillaan liikkua oikeassa maailmassa rajatulla alueella ja liikkeet heijastuvat virtuaalimaailmaan sellaisinaan. (Virtual Reality Society n.d.)

### **2.3 HTC Vive**

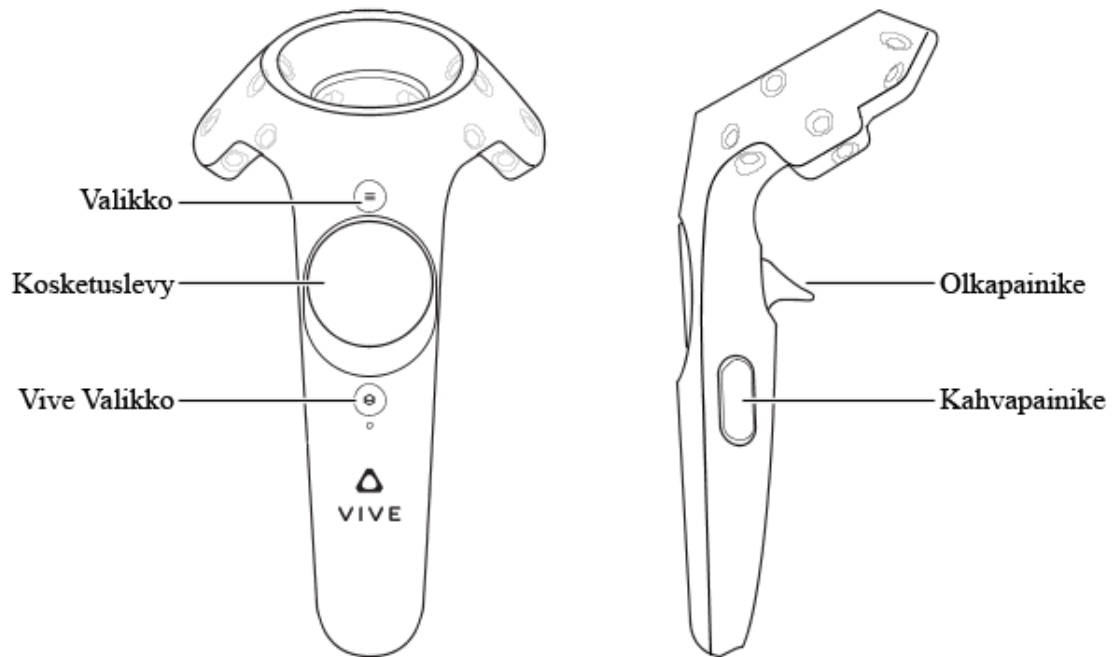
Vive on HTC:n ja Valven yhteistyössä kehittämä VR-järjestelmä, joka julkaistiin 5.4.2016. Steam Corporation (n.d. (A)) kuvaa laitetta luokkansa ensimmäiseksi VR-järjestelmäksi, joka takaa täydellisen immersion tunteen. Järjestelmä koostuu VR-laseista, kahdesta langattomasta ohjaimesta ja kahdesta perusasemasta (base station) (kuva 1). (Steam Corporation n.d. (A).)



KUVA 1. HTC Viven visiiri keskellä, perusasemat ylhäällä ja ohjaimet alhaalla (HTC corporation n.d. (B))

Perusasemat toimivat Viven sijainnin tunnistusjärjestelminä. Majakka-tekniikaksi (lighthouse tech) kutsuttu tekniikka lähettää ja vastaanottaa valosignaaleja määrittäen ihmisen sijainnin ja katsomissuunnan tarkasti. (Buckley 2015.) Järjestelmän ansiosta käyttäjä pystyy liikkumaan parhaimmillaan viiden metrin alueella vapaasti. Tekniikka tunnistaa myös käyttäjän korkeuden, jolloin käyttäjä pystyy kyykkimään ja hyppäämään VR:ssä. Chaperone-järjestelmä näyttää käyttäjälle VR-alueen rajat verkkona, jos hän lähestyy alueen reunoja. (Steam Corporation n.d. (A).)

Viven ohjaimet ovat langattomia ja niissä on 24 sensoria, joiden avulla käsien liikkeitä seurataan tarkasti. Ohjaimissa (kuva 2) on Viven valikolle oma painikkeensa (system button), valikkopainike (menu), olkapainike (trigger), kahvapainike (grip) ja iso kosketuslevy (trackpad), joka toimii myös painikkeena. VR-lasit eli Vive-visiiri antaa 110 asteen näkökentän 2160 x 1200 resoluutiolla ja 90 hertsin virkistystaajuudella. Visiiri on kevyt, mutta perusversio ei ole langaton. (Steam Corporation n.d. (A).)



KUVA 2. Viven ohjaimen painikkeet (HTC corporation n.d. (A))

HTC Vive valittiin projektin laitteeksi sen suuren VR-alueen, laadun ja kehittämisen helppouden vuoksi. Viveä käytetään useissa museoissa, esimerkiksi Pariisin National Museum of Natural History -museossa, ja HTC on jopa luonut VIVE Arts -ohjelman, joka kehittää ja rahoittaa VR-sisältöä museoihin (Cigainero 2018). Laitteen huonoja puolia on sen langallisuus, mutta langaton pro-versio on jo saatavilla opinnäytetyön kirjoitushetkellä. Viven VR-alue vie vähintään kahden ja enintään viiden neliömetrin tilan kun perusasemien viemää tilaa ei laske mukaan. Jos perusasemat saadaan kiinni seiniin ja Viveä käytetään paikallaan seisten, ei ylimääräistä tilaa tarvita.

#### 2.4 Virtuaalitodellisuus museoissa

Moni museo on kehittänyt VR-sovelluksia joko museon tiloissa tai muualla verkon ja sovellusten kautta käytettäväksi. Esimerkkinä museon tiloissa toimivasta VR:stä on Ranskan National Museum of Natural History -museon viisi HTC Vive-asemaa, joilla käyttäjä pääsee tutkimaan läheltä 460 eri eläinlajia, lukemaan niiden tietoja ja näkemään miten ne ovat yhteydessä toisiinsa (kuva 3). VR-alueet ovat rajattu toisistaan penkeillä, matoilla ja verhoilla, ja ne sijaitsevat muusta museosta erillään. Sovellusta pystyy käyt-

tämään sekä seisoen ja istuen, ja jokainen käyttäjä opastetaan laitteen käyttöön alussa. (Cigainero 2018).



KUVA 3. National Museum of Natural History -museon Vive-asemia (Muséum national d'Histoire naturelle n.d.)

Verkon kautta toimivat VR-sovellukset ovat helppo ja halpa tapa päästä tutustumaan museoihin ja teoksiin, sillä ne usein toimivat millä tahansa VR-laseilla ja verkkoselaimella, ja niitä pääsee käyttämään melkein missä vain. Verkon kautta käytettävien virtuaalimuseoiden joukossa on interaktiivisia karttoja museosta, 360-videoita ja -kuvia ja 3D-gallerioita. Interaktiivisten karttojen kautta pystyy valitsemaan museon sisältä valmiiksi määriteltyjä pisteitä mihin siirtyä eli teleportipisteitä. 360-videoitten ja -kuvien avulla pystyy katsomaan yhdestä pisteestä joka puolelle ympärilleen ja näkymää pystyy yleensä lähentämään tiettyyn pisteeseen asti. 3D-gallerioiden kautta pystyy katsomaan pelkkiä teoksia niin läheltä kuin haluaa ja kaikista suunnista ilman, että muut teokset, lattia tai seinät estävät näkymää. On olemassa myös museoita, jotka ovat olemassa vain VR:ssä, kuten HTC Viveille julkaistu The VR Museum of Fine Art (kuva 4), joka pitää sisällään melkein aidon museon näköisen tilan, josta löytyy joitain maailman tunnetuimpia teoksia ympäri maailmaa saman katon alta. Tilassa pystyy liikkumaan pääsääntöisesti teleporttaamalla ja taideteoksia pystyy katsomaan niin läheltä kun haluaa. Projektissa on myös mukana kulkeva kartta alueesta ja tietoruudut jokaisesta teoksesta. (Bambury 2017.)



KUVA 4. Kuvakaappaus sovelluksesta The VR Museum of Fine Art

Museotiloihin VR-sovellusta kehittäessä tulee ottaa huomioon monta asiaa. Laitetta tulee käyttämään monta ihmistä eri ikäluokista ja kulttuureista, joten sovelluksen tulee olla selkeä ja yksinkertainen käyttää. Osa kävijöistä ei ole aiemmin käyttänyt VR:ää tai ymmärrä englantia. Museokävijöitä saattaa olla paljon, joten sovelluksen tulisi olla lyhyt käyttää ja sen pitää pystyä kertomaan uudelle käyttäjälle nopeasti, miten sitä käytetään. Kynnys kokeilla sovellusta pitäisi saada mahdollisimman pieneksi, sillä monimutkaiset sovellukset ja moniosaiset laitteet saattavat karkottaa mahdolliset käyttäjät. VR-laitteet vaativat oman tilansa, etteivät käyttäjät törmäile muihin asiakkaisiin tai museoesineisiin, tai kompastu laitteen johtoihin VR-lasit päässään. Jos sovellukseen halutaan mukaan ääniä, olisi hyvä etteivät museon muut äänet häiritse sovelluksen käyttäjää, eivätkä projektin äänet muita museokävijöitä. On mahdollista, että VR-laitteet hajoavat tai ne varastetaan, jos ne jätetään valvomatta. Kokemattomat käyttäjät saattavat myös tarvita opasta VR-maailmaan. Oman haasteensa VR-projektille tuovat tekijänoikeudet, sillä vaikka museolla on oikeus pitää teosta fyysisesti esillä, sillä ei pakosti ole oikeuksia teettää siitä kopio digitaalisesti ja esittää sitä verkossa (Benhamou 2016).

Virtuaalitodellisuus voi antaa museokävijälle paremman kokemuksen kuin pelkkä fyysinen museo. Digitaalista museotilaa pystyy muuttamaan helposti millaiseksi vain; tila ei loppu kesken näyttelyiltä eivätkä käytävät ole liian ahtaat. Sen sijaan teoksia pääsee

katsomaan miten läheltä tahansa ilman muita ihmisiä tai lasia tiellä. Teosten lähettyviltä löytyvät infotaulut voivat VR:ssä ilmestyä kätevästi teoksen viereen ja tekstit pystyy muuttamaan mille kielelle tahansa. Joidenkin näyttelyiden arvo tulee paremmin esiin sen luonnollisessa ympäristössä, kuten esimerkiksi luonnontieteellisten museoiden täytetyille eläimille tehdyt kolmiulotteiset maisemamallit, jotka näyttävät millaisessa ympäristössä eläimet luonnontilassa asuvat. VR:ssä ympäristön pystyy muuttamaan juuri tarvittavaksi ja siihen saa mukaan myös teokseen kuuluvaa tai sopivaa äänimaailmaa tai videokuvaa. (Hon 2016.) VR:ssä pystyy myös näyttämään jo tuhoutuneita teoksia, teoksia jotka ovat kunnostuksen takia poissa museotiloista ja teoksia, jotka sijaitsevat vaikeasti päästävässä paikassa. Myös sijainnit ja rakennukset, jotka ovat hankalia esittää museoissa, on mahdollista näyttää VR:ssä. Museokävijöiden lisäksi myös museot hyötyvät VR:stä, sillä digitaaliset teokset eivät voi vahingoittua tai niiden kunto heiketä ajan kanssa, eikä fyysisiä teoksia tarvitse enää lainata muihin museoihin kun voi lainata digitaalista versiota (Hon 2016).

### 3 MUUMI-TALOVR

#### 3.1 Muumi-Talo

Muumi-Talo (kuvat 5 ja 6) on vuosina 1976–1979 rakennettu pienoismalli Tove Janssonin alkuperäisestä Muumi-Talosta. Teosta kutsuttiin aiemmin nimillä Muminhuset ja Mumin-huset, mutta Janssonin toiveesta nimi muutettiin Muumi-Taloksi. (Kivi 2000, 84.) Työ kuuluu 41 muumiaiheisen kuvaelman kokoelmaan, joka on pääasiassa Tuulikki Pietilän rakentamia kolmiulotteisia teoksia muumikirjojen kohtauksista ja hahmoista (Kivi 2000, 78–79). Muumi-Talon rakentamisessa Pietilä vastasi hahmojen muotoilusta ja muista käsitöistä, pääsuunnittelijana ja sähköasentajana toimi yhteinen ystävä Pentti Eistola ja Jansson oli avustajana (Kivi 2000, 85).



KUVA 5. Muumi-Talo-taideteos edestä



KUVA 6. Muumi-Talo sivusta

Pienoismalli on yli kaksi metriä korkea ja siinä on avoin sivu, joista voi katsoa sisälle. Teos eroaa muumikirjoissa kuvatusta Muumi-Talosta muun muassa sen suorakulmaisella pohjapiirustuksella. Pienoismalli tehtiin Lasten vuoden kansainvälistä kuvitusbiennaalia varten Bratislavaan, ja esittelypaikka edellytti suorakulmaista muotoa. Pienoismallissa on viisi kerrosta ja siinä on 12 huonetta. Rakennusaineina mallissa on käytetty muun muassa mäntyä, kuusta, mahonkia, graniittia, harmaakiveä ja hiekkakiveä. (Kivi 2000, 84–88.)

Muumi-Talo lahjoitettiin noin 2200 muun muumiteoksen ohessa Tampereen taidemuseolle vuonna 1986. Lahjoituksen yhteydessä luotu lahjakirja kieltää Muumi-Talon lainaamisen muihin näyttelyihin. (Rämö 2011.) Muumi-Talo sijaitsee tällä hetkellä Tampere-talossa 9.5.2017 avatussa Muumimuseossa (Kanninen 2015). Museo saa paljon lainauspyyntöjä kuvaelmista muilta museoilta, mutta kuvaelmien materiaalivalintojen ja iän vuoksi niitä ei enää haluta lainailla. Tämä on yksi syy, minkä takia kuvaelmia päätettiin alkaa 3D-mallintamaan. Mallinuksista on myös hyötyä konservoinnin apuna, ja 3D-malleja voidaan esitellä silloin kun alkuperäinen kuvaelma on kunnostettavana tai muusta syystä poissa näytöltä. (Mahlamäki 2016).



### 3.2 Mobiilisovellus

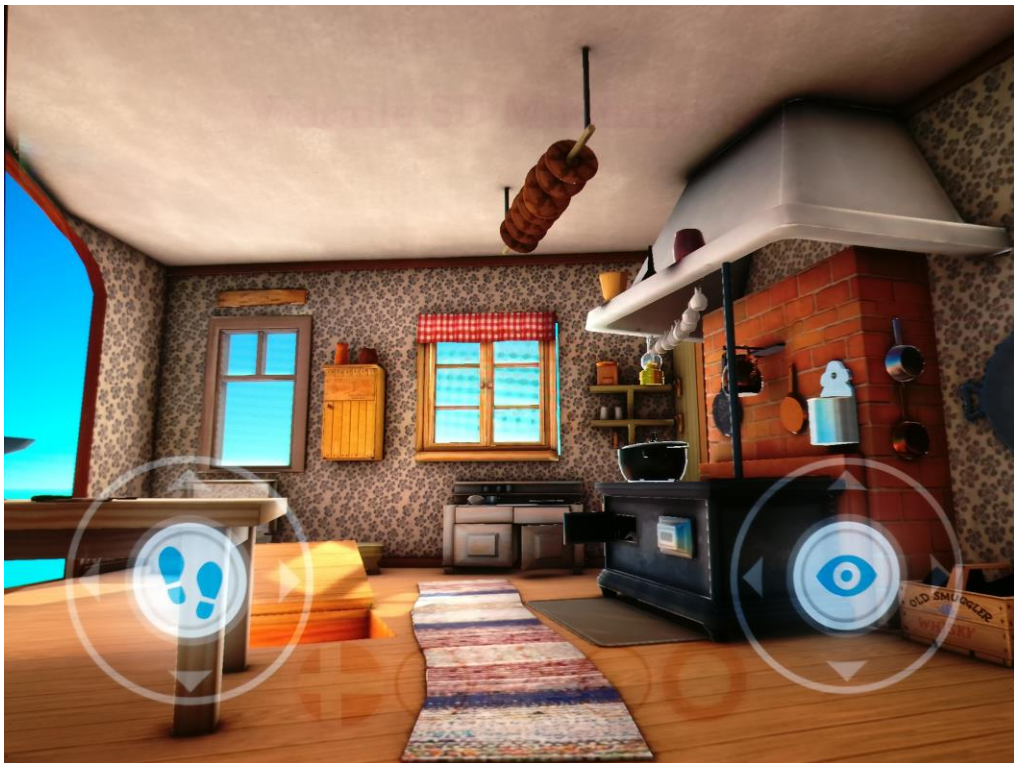
Muumi-Talo valokuvattiin ja skannattiin käsi- ja laserskannereilla projektipäällikkö Kalle Tammin avulla vuonna 2015. Skannauksella saatua dataa ja valokuvia käyttämällä Tampereen ammattikorkeakoulun opiskelijat 3D-mallinsivat sen. (Mahlamäki 2016.) Mallista luotiin mobiilisovellus, joka on käytettävänä tablet-tietokoneella Muumimuseossa. Muumi-Talo-teoksen hahmoja ei ole 3D-mallinnettu.

Sovellus alkaa Muumi-Talon terassin edestä ja se on kuvattu ensimmäisestä persoonasta. Sovelluksessa voi liikutella kameraa ja hahmoa kaikkiin eri suuntiin. Kun tablet-tietokoneen näyttöön ei kosketa tiettyyn aikaan, aktivoituu automaattinen kamera-ajo, jossa kamera kulkee ennalta määrättyä reittiä pitkin Muumi-Taloa. (Koskinen 2017.) Näyttöön koskettaessa kamera-ajo päättyy ja ruutuun ilmestyy päävalikko (kuva 7). Päävalikossa on ”Aloita” ja ”Jatka” -painikkeet, sekä kielivalinnat viidelle eri kielelle. ”Jatka”-painikkeesta kamera-ajo jatkaa siihen mihin jäi ja ”Aloita”-painikkeesta sovellus alkaa alusta.



KUVA 7. Mobiilisovelluksen valikko

Mobiililaitteilla liikkuminen on tehty kahdelle sormelle. Vasemmalta puolelta näyttöä liikutetaan hahmoa ja oikealta puolelta kameraa (kuva 8). Vasemmassa painikkeessa on kuvana kengänjäljet ja oikeassa silmä. Hahmon nopeus kiihtyy heti täyteen nopeuteen ja kun liikkeen lopettaa, hahmo pysähtyy pehmeästi. Muumi-Talossa pystyy liikkumaan vapaasti kaikissa lattiatiloissa ja lattialla olevien tavaroiden läpi pystyy kulkemaan. Muumi-Talon kaiteet toimivat seininä, joiden läpi tai yli ei pääse, eikä huonekalujen päälle pysty hyppäämään. Mallin avonaisista seinistä ja katolta ei pääse hyppäämään alas. Mobiilisovellus on tehty Unity-pelimoottorilla.



KUVA 8. Mobiilisovelluksen ohjaimet

### 3.3 Mobiilisovelluksesta VR-ympäristöksi

Helmikuussa 2018 aloitetussa projektissa muutettiin Muumimuseolle tehty mobiilisovellus VR-ympäristöksi. 3D-malli tuotiin sellaisenaan uuteen projektiin, joka luotiin samaan pelimoottoriin. Koska malli perustuu taideteokseen, sitä ei saanut muokata, eikä sinne saanut lisätä ylimääräisiä asioita. VR-lasien kautta 3D-malleja pystyy kuitenkin tarkastelemaan lähempää kuin tablet-tietokoneen näytöltä ja siten löytämään huolimattomuusvirheitä helpommin, minkä takia 3D-mallia piti korjata muutamasta paikasta.

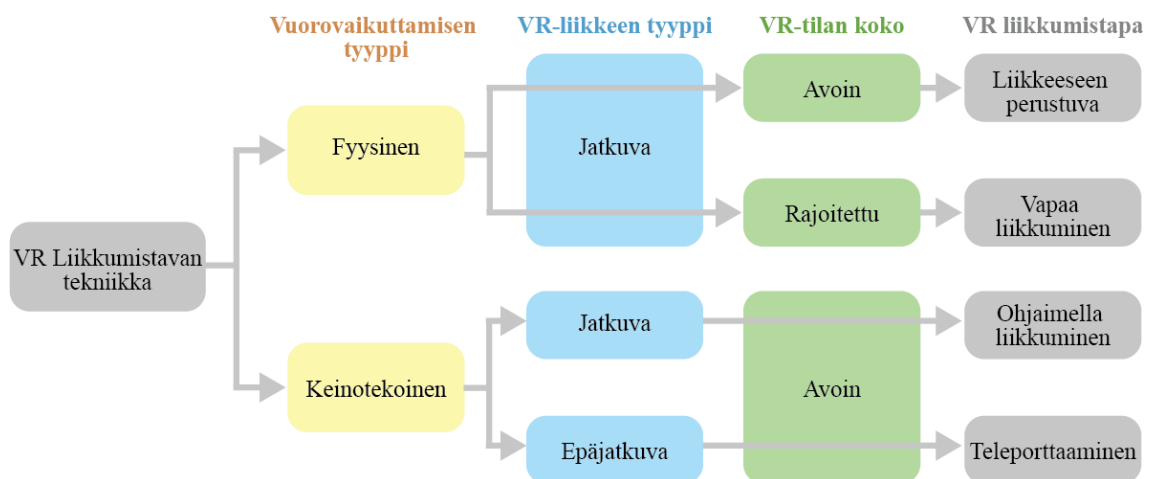
Mobiilisovelluksessa liikkumisalueen rajaaminen oltiin tehty Muumi-Talon päälle mallinnetulla alueella, joka sisälsi kaikki lattiat, seinät ja huonekalut ja portaat omilla tasoillaan hyvin yksinkertaisilla muodoilla tehtyinä. Pelimoottorissa malli oltiin piilotettu käyttäjän silmiltä ja sitä käytettiin vain Unityn Mesh collider -komponentin kanssa käyttäjän törmäyspintana. Kun pelihahmo osuu huonekalujen tai seinien törmäyspintoihin, se ei pääse eteenpäin. VR-projektissa päätettiin käyttää samaa rajaustekniikkaa, mutta törmäyspintojen mallit täytyi mallintaa uudestaan. Lattioiden ja portaiden lisäksi käyttäjä pystyy VR-projektissa siirtymään sänkyjen päälle.

Koska Muumi-Talo-teosta ei voida lainata muihin näyttelyihin, haluttiin Muumi-TaloVR:ään mukaan mahdollisuus myös katsoa taloa ulkoapäin, jotta sitä lainatessa muihin museoihin ja näyttäessä kiertueilla museovieraan pystyvät näkemään teoksen kokonaisuudessaan. Ympäristön mallintaminen olisi ollut sääntöjen vastaista, joten tilalle valittiin Taikurin hattu -kirjasta tuttu pilvi, jolla käyttäjä pystyy lentämään ennalta määrättyä reittiä taloa ympäri. Pilvi sijaitsee ja pysyy teoksen ulkopuolella koko ajan, eikä estä käyttäjää näkemästä taloa.

## 4 ERILAISIA TAPOJA LIIKKUA VR:SSÄ

### 4.1 VR:ssä liikkuminen

On olemassa monta erilaista tapaa liikkua virtuaalitodellisuudessa. Boletsis (2017) listaa tutkimuksessaan 11 tapaa, jotka hän jakaa neljään eri luokkaan (kuvio 1): liikkeeseen perustuva liikkuminen (motion-based), vapaa liikkuminen (roomscale), ohjaimella liikkuminen (controller-based) ja teleporttaaminen (teleportation-based). Liikkumistavat ovat jaettu niiden tekniikan, tyyppin ja VR-tilan koon perusteella. (Boletsis 2017.) Opin- näytetyössä liikkeeseen perustuvaa liikkumistapaa rajattiin hieman ja nimeksi muutet- tiin paikallaan liikkuminen. Rajaaminen tehtiin, että liikkeeseen perustuvan liikkumis- tavan ja vapaan liikkumisen eron pystyy ymmärtämään helpommin.



KUVIO 1. VR liikkumistavat jaettuna neljään otsikkoon (Boletsis 2017)

Useat VR-sovellukset tarjoavat vaihtoehtoisia tapoja liikkua, joiden välillä käyttäjä pysyy vaihtamaan sovelluksen alussa tai kesken käyttämisen, esimerkiksi Kuboldin Spell Fighter -pelissä käyttäjä voi valita teleporttaamisen ja ohjaimella liikkumisen välillä. Monissa sovelluksissa hyödynnetään myös montaa erilaista tapaa liikkua yhtä aikaa tai limittäin, kuten Stress Level Zeron tekemässä Hover Junkers -pelissä ohjaimella ja vapaasti liikkumista. Jotkin liikkumistavat sopivat paremmin joillekin ihmisille kuin toisille. Suurimpia ongelmia VR:ssä liikkumisessa ovat kyber-pahoinvointi ja immersion katoaminen. Useat liikkumISRatkaisut, jotka vähentävät liikepahoinvoinnin syntymistä,

kärsivät immersion katoamisesta, ja useat immerssiiviset liikkumisratkaisut kärsivät kyber-pahoinvoinnista.

## 4.2 Kyber-pahoinvointi

Ihmisten sisäkorvissa sijaitsee tasapainoelin, joka yhteistyössä muiden aistien kanssa kertoo missä asennossa ihminen on maahan nähden, ja onko hän liikkeessä vai paikallaan. Moni ihminen on herkkä tietyn tyyppiselle liikkeelle ja saattaa kokea liikepahoinvointia. Liikepahoinvointia koetaan usein liikkuvan auton, lentokoneen tai junan kyydissä silloin kun ihminen ei pysty katsomaan menosuuntaan tai ei näe horisonttia. (Vince 2004, 65–66.) Virtuaalitodellisuudessa on paljon liikepahoinvointia aiheuttavia tekijöitä. VR:stä johtuvasta pahoinvoinnista käytetään nimitystä kyber-pahoinvointi (cybersickness). Se eroaa muusta liikepahoinvoinnista siten, että ihminen on yleensä paikallaan ja tuntee olevansa liikkeellä. (LaViola Jr. 2004.)

Vincen (2004) mukaan pahoinvointi alkaa aluksi oudosta tunteesta, joka pahetessaan muuttuu hikoiluksi, kuvotukseksi, tasapainon menettämiseksi ja pahimmillaan oksettamiseksi. LaViola Jr. (2004) luettelee oireiksi myös silmien rasittumisen, päänsäryn, kalpeuden ja huimauksen. Joskus oireet alkavat vasta tuntien päästä VR-kokemuksesta ja kestävät useita tunteja, joskus jopa päiviä. Kun käyttäjät oirehtivat VR-sovellusta käyttäessään, he eivät usein kokeile enää uudestaan sovellusta. VR-kokemus saattaa myös kärsiä oireiden takia, mistä on paljon haittaa VR:ää hyödyntävien opetusmateriaalien kanssa. (LaViola Jr. 2004.)

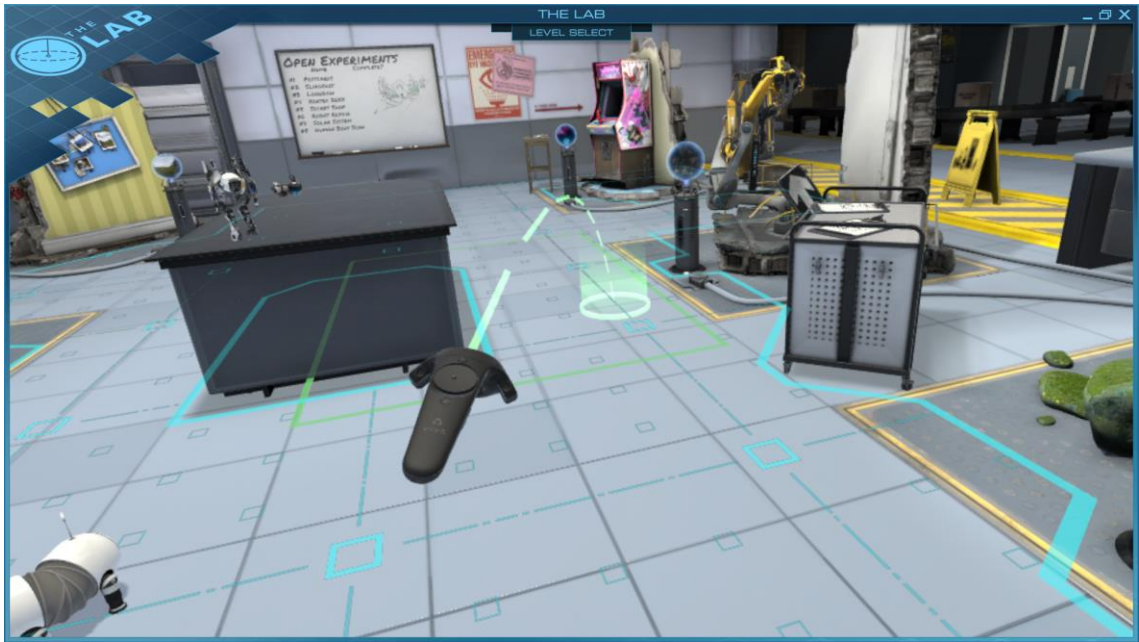
Liikepahoinvoinnin herkkyyteen saattavat vaikuttaa ihmisen sukupuoli, ikä ja sairaudet. LaViola Jr (2004) kertoo, että nuoret naiset vaikuttavat olevan herkimpiä pahoinvoinnille. Sairauksien varsinkin vatsaan, korviin ja vireydentilaan liittyvät oireet, ja alkoholin ja huumeiden käyttö tekevät ihmisestä herkemmän kokemaan liikepahoinvointia (LaViola Jr. 2004; Johnson 2005). Jos ihminen on herkkä muulle liikepahoinvoinnille, on hän todennäköisesti herkkä myös kyber-pahoinvoinnille (Johnson 2005). Kyber-pahoinvointia voivat aiheuttaa muun muassa VR-lasien tekniikka, tietokoneen tai älypuhelimien grafiikat ja nopeus, ja kaikki liikkumiseen tarkoitettut alustat (Vince 2004, 66). Pelaajan katsomissuunnan muuttaminen ilman varoitusta ja muu pelaajasta riippumaton liike pelaajassa aiheuttaa helposti pahoinvointia (Johnson 2005). Myös se, istuu-

ko vai seisooko pelaaja VR:ssä vaikuttaa pahoinvoinnin syntymiseen (LaViola Jr. 2004).

Yhdysvaltojen merivoimien teettämien tutkimusten mukaan liikepahoinvointia aiheuttaviin tekijöihin pystyy sopeutumaan kun kokeilukertoja on useita. Jopa 95–97 % testihenkilöistä pystyi sopeutumaan pahoinvointia aiheuttavaan ympäristöön toistuvalla käytöllä. Loput eivät koskaan sopeutuneet riippumatta kokeilukerroista. Sopeutuminen yhteen ympäristöön ei takaa sopeutumista toiseen, vaan uusi ympäristö saattaa aiheuttaa lisää pahoinvointia. Tutkimuksen mukaan ihminen tarvitsi keskimääräisesti kuudesta kymmeneen kokeilukertaa ennen sopeutumista. Sopeutumiseen auttaa aktiivinen liikkuminen valitussa ympäristössä, mutta se saattaa aiheuttaa lisää pahoinvointia. (Johnson 2005.)

### **4.3 Teleporttaaminen**

Kun fyysistä tilaa on vähän tai halutaan tehdä mahdollisimman vähän kyberpahoinvointia aiheuttava VR-projekti, voidaan liikkumistavaksi valita teleporttaaminen. Teleporttaaminen on keinotekoisien liikkumisen muoto, jonka liike ei ole jatkuvaa vaan katkonaista. Teleportatessa käyttäjän näkymää liikutetaan yleensä painamalla ohjaimen painiketta pohjaan ja osoittamalla ohjainta paikkaan, minne tahdotaan siirtyä. Kun painikkeesta päästetään irti, näkymä siirtyy yleensä välittömästi uuteen paikkaansa. (Boletsis 2017.) Käyttäjän itse ei tarvitse liikkua, eikä näkymän siirtymistä paikasta toiseen yleensä näytetä, jolloin ihminen ei yleensä koe pahoinvointia. Yleensä teleporttauksessa käytetään visuaalisena vihjeenä ohjaimen päästä lähtevää kaarta, jonka päässä on ympyrä, jonka keskelle näkymä tulee siirtymään. Kuvassa 9 näkyy Valven The Labin visuaaliset vihjeet teleporttaamiselle; ohjaimesta lähtevän kaaren ja ympyrän lisäksi käyttäjälle näytetään myös fyysinen VR:lle varattu alue vihreänä suorakulmiona ja digitaalinen alue, jonka sisällä pystyy teleporttaamaan sinisillä reunoilla korostettuna.



KUVA 9. The Labin teleporttausvihjeet kun ohjaimen painiketta painetaan

Teleportaatioon liittyy ongelmia, joihin on yritetty keksiä erilaisia ratkaisuja. Suurin ongelma teleporttaamisessa on immersion katoaminen, sillä teleporttaaminen on hyvin erilainen tapa liikkua kuin oikeassa maailmassa liikkuminen (Marshall 2017). Immersio saattaa kadota vain hetkeksi, mutta se tapahtuu pahimmillaan joka kerralla kun käyttäjä tähtää ja siirtyy. Teleporttaamista ei näe oikeassa maailmassa, joten se voi tuntua vieraalta käyttäjälle. Käyttäjä saattaa olettaa, että VR:ssä liikutaan kävellen, eikä ehkä ymmärrä mitä teleporttaaminen edes tarkoittaa. (Marshall 2017.) Joissain VR-projekteissa hämmennystä yritetään välttää pienentämällä teleporttaation välimatkaa muistuttamaan yhtä askelväliä, jolloin liikkuminen on hitaampaa, mutta muistuttaa enemmän kävelyä. Siirtyminen uuteen paikkaan saattaa hämmentää ihmisen, joka ei ymmärrä mistä suunnasta hän on paikkaan siirtynyt. Oletuksena paikasta toiseen siirtymässä näkymä on kääntyneenä samaan suuntaan kuin lähtiessä, mutta se saattaa silti sekoittaa käyttäjän suuntaavaiston. Joissakin VR-projekteissa pystyy valitsemaan etukäteen mihin suuntaan näkymä kääntyy kun se siirtyy uuteen sijaintiin. Näissä projekteissa suuntaa muutetaan yleensä ohjaimen kosketuslevyllä sormeaa liikuttamalla.

Cloudhead Games Ltd:n The Gallery: Call of the Starseed -peli auttaa pelaajaa ymmärtämään siirtymistä soittamalla askeleen äänen siirtymisen yhteydessä ja pimentämällä pelaajan näkymän siirtymisen ajan. Siirtymisefekti on laitettu muistuttamaan silmän räpäystä, joka näyttää luonnolliselta ihmisille ja vähentää hämmennystä. Pelaaja voi

valita mihin suuntaan hän tulee katsomaan siirtymisen jälkeen valitsemalla suunnan teleporttauksen yhteydessä. Kääntymään pystyy myös fyysisesti kääntymällä tai painamalla ohjaimesta painiketta, joka kääntää näkökulmaa tietyn asteen verran haluttuun suuntaan. Surviosin kehittämässä Raw Data -pelissä siirtyminen paikasta toiseen näytetään nopeana väläyksenä, jolloin ympäristöä sumennetaan ja ympärillä näytetään paljon kirkkaita vauhtiviivoja, jotka auttavat pelaajaa keskittämään katseensa näkökentän keskelle. Kun pelaaja näkee tarkasti vain näkökentän keskustan, liikepahoinvoinnin mahdollisuus vähenee. Väläys auttaa pelaajaa ymmärtämään miten päin hän on siirtymisen jälkeen ja mistä suunnasta hän tuli.

Peleissä From Other Suns (Gunfire Games) ja Spell Fighter (Kubold) pelaajan annetaan nähdä pelihahmon liikkuvan paikasta toiseen ennen kuin pelaajan oma näkymä siirtyy. Pelaaja ymmärtää paremmin minne ja mihin suuntaan hän on siirtymässä, mutta itseltään liikkuva pelihahmo saattaa aiheuttaa hämmennystä. Spell Fighterissa pelihahmo näkyy läpinäkyvänä hahmona (kuva 10) kun From Other Sunissa hahmo näyttää enemmän ihmiseltä. Hahmo juoksee pelaajan edestä ohjaimen osoittamaan paikkaan ja kun pelaaja päästää irti painikkeesta, hänen näkymänsä siirtyy hahmon tilalle. Pelihahmon pystyy pysäyttämään myös kesken liikkeen, jolloin pelaajan näkymä siirtyy hahmon senhetkiseen sijaintiin.

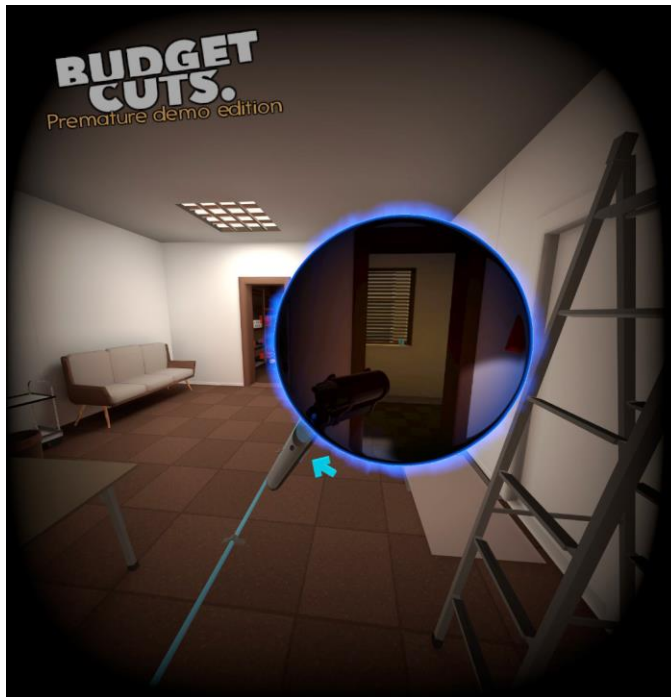


KUVA 10. Spell Fighterin läpikuultava hahmo kertoo mihin pelaaja tulee siirtymään

Immersion katoamista pystyy minimoimaan VR-maailmaan sopivalla siirtymisefektillä. Luke Haneyn ja Jim Cookin kehittämässä Spells 'n' Stuff -pelissä siirtymispaikkaa ei



voi määrittää ohjaimella tähtäämällä, vaan paikka valitaan heittämällä pallomaista objektia, joka törmäilee seiniin. Kun pallo pysähtyy, pelaaja näkymä siirtyy sen paikalle. Siirtyminen ei ole tarkkaa, mutta se on osa pelin haastetta. Hiippailupeli Budget Cuts (Neat Corporation) tarjoaa pienen esikatseluikkunan uuteen siirtymispaikkaan ennen kuin itse siirtyminen tapahtuu (kuva 11). Esikatseluikkunan kautta pystyy tarkkailemaan ympäristöä vihollisten varalta ennen kuin päättää siirtykö sinne. Ikkuna auttaa pelaajaa ymmärtämään paremmin minne ja mihin suuntaan hän on siirtymässä. High Voltage Softwaren pelissä Damaged Core pelihahmo on vain tietoisuus, joka voi siirtyä robotista toiseen. Pelaaja näkee robotit ennen kuin siirtyy niiden paikalle, joten suuntavaisto säilyy paremmin. Siirtyessä robotista toiseen, pelaajan näkökenttä muuttuu hetkeksi hyvin kirkkaaksi niin, ettei itse siirtymistä näe. Insomniac Gamesin The Unspoken -peli rajoittaa liikkumisen vain muutamaan pisteeseen, joiden välillä pelaaja pystyy siirtymään. Teleportpisteet erottaa hyvin muusta ympäristöstä ja pelaajan täytyy siirtyä niiden välillä nopealla tahdilla. Myös Unspokenissa pelaajan näkökenttä pimenee siirtymähetkeksi.



KUVA 11. Budget cutsin esikatseluikkuna keskellä

Joissakin sovelluksissa käyttäjä ei voi liikuttaa itseään ollenkaan, vaan näkökenttä pysyy yhdessä pisteessä, josta pystyy katselemaan ympärilleen kuin ilmassa leijuva pää. VR-pelissä Moss pelaaja liikuttaa ohjaimella pientä valopistettä ja auttaa sillä pelin päähahmoa pääsemään eteenpäin. Kun pelihahmo siirtyy eteenpäin ja sijainti vaihtuu, pe-

laajan näkökenttä pimenee hetkeksi ja siirtyy uuteen paikallaan pysyvään katselupaikkaan. Pelaajan sijainnin vaihtaminen on tässä tilanteessa teleporttaamista, mutta valopisteen liikuttaminen tapahtuu ohjaimella.

#### 4.4 Ohjaimella liikkuminen

Ohjaimella liikkeessä käyttäjän tarvitsee vain painaa ohjaimen painiketta pohjaan ja hänen näkymänsä liikkuu. Ohjaimella liikkuminen on keinotekoisena liikkumisen muoto, jossa liike on jatkuvaa. (Boletsis 2017.) Yleensä Viven ohjaimella liikuttaminen tapahtuu olkapainikkeella tai kosketuslevyllä. Kääntyminen voidaan tehdä joko ohjaimella tai kääntämällä päätä. Yleensä käyttäjän ei tarvitse edes seisoa, vaan sovelluksia pystyy käyttämään istuenkin. (Boletsis 2017.)

Suurin ongelma ohjaimella liikkumisessa on kyber-pahoinvointi, koska käyttäjä itse pysyy paikallaan silloin kun hänen näkymänsä liikkuu. Pahoinvointia erityisesti aiheuttavat tekijät ovat nopeat muutokset korkeussuunnassa ja äkkinäiset pysähdykset ja jatkuva pyöriminen (Johnson 2005). Käyttäjä saattaa myös menettää hetkeksi tasapainonsa kun näkymä pysähtyy tai lähtee liikkeelle. Kummankin ongelman kannalta on tärkeää, että kontrolli on käyttäjällä, eivätkä muut tahot pysty liikuttamaan näkymää. Liikkeen on myös tapahduttava mahdollisimman pian painikkeen painamisesta. Pahoinvoinnin välttämiseksi on keksitty paljon auttavia tekijöitä, joista useimmat keskittyvät kiintopisteisiin ja käyttäjän näkökentän rajaamiseen, mikä vie huomiota pois liikkeestä. Pyörimisestä johtuvaan pahoinvointiin auttaa, jos laittaa näkymän kääntymisen lukittumaan tiettyjen asteiden välille jatkuvan liikkumisen sijaan. Pahoinvoinnin välttämiseen voi auttaa myös liikkeen todentuntuiseksi luominen, jonka voi yksinkertaisesti tehdä soittamalla kuvitteellisille askelille ääni.

Downpour Interactiven Onward on ensimmäisen persoonan ammuntopeli, jossa pelaaja liikuttaa pelihahmoa osoittamalla toisella ohjaimella suuntaan, johon haluaa liikkua. Painamalla kosketuslevyä hahmo joko kävelee tai juoksee eteenpäin. Nopeus on tasainen ja pysähtyy välittömästi, kun pelaaja lopettaa painikkeen painamisen. Pelaaja pysyy katselemaan eri suuntaan kävellessään eteenpäin, sillä liikkumissuunta on kiinni pelkästä ohjaimesta. Liikkeessä pelaaja kuulee askelten äänet. Normaalisissa pelitilan-

teessa pelaaja näkee kävellessään virtuaaliset kädet ja aseet, jotka toimivat kiintopisteenä.

Ohjaimella liikkumista käytetään usein peleissä, joissa pelaaja on jonkin virtuaalisen ajoneuvon kyydissä. Nopeammalla vauhdilla liikkuesssa myös kyber-pahoinvointi pahentuu, sillä aivoilla on vaikeampi ennakoita tulevia liikkeitä ja käyttäjän liikettä ympäristöön nähden. Ajoneuvojen ohjaamot ja VR-maailmassa paikoillaan pysyvät graafiset käyttöliittymät toimivat kiintopisteinä, jotka auttavat vähentämään pahoinvointia. Virtuaalisen ohjaamon sisältä katsottuna pelikokemus muistuttaa oikean ajoneuvon kyydissä olemista ja ohjaamo auttaa pelaajan aivoja ymmärtämään pelaajan liikettä paremmin. Rallipelien tiet ja virtuaalisten vuoristoratojen rataiskot auttavat pelaajaa ennakoimaan tulevia liikkeitä. Kiintopisteinä voi toimia myös pelihahmon kypärän reuna, ase tai nenä, jonka pelaaja näkee koko ajan ja joka pysyy paikallaan pelaajaan nähden. Kun katse keskittyy kiintopisteisiin, itse liike jää vähemmälle huomiolle. Mitä vähemmän liike näkyy ja mitä paremmin pelaaja pystyy ennakoimaan tulevan liikkeen, sitä vähemmän se aiheuttaa liikepahoinvointia. (Tambovtsev, Floksy & Peshé 2016.)

Slightly Mad Studiosin kehittämä Project Cars on rallipeli, jossa pelaaja istuu koko ajan virtuaalisten autojen sisällä. Pelaaja näkee ajaessaan auton kojelaudan ja kehikon ympärillään. Pelaaja pystyy ennakoimaan tulevia käännöksiä tiestä. CCP Gamesin pelissä EVE: Valkyrie pelaaja istuu avaruusaluksen ohjaamossa. Pelaaja näkee koko ajan edessään aluksen kehikon, aseet ja ohjainjärjestelmän (kuva 12). Aluksen ympärillä on lasi, johon ilmestyy välillä pelaajaa ohjaavia merkkejä. Ohjaamossa on paljon kiintopisteitä, jotka auttavat pelaajaa välttämään liikepahoinvointia kun alus pyörii avaruudessa. Skydance Interactiven Archangelissa pelaaja on kiinni mekaanisessa taisteluasussa, joka kulkee ennalta määrättyä polkua pitkin. Kiintopisteinä toimivat asun kehikko, käsiin kiinnitetyt aseet ja graafiset käyttöliittymät, jotka ovat kiinni asussa.



KUVA 12. EVE: Valkyrien kiintopisteinä toimivat ohjaamo ja graafiset käyttöliittymät (CCP n.d.)

HTC Vivelle kehitetyssä Hover Junkers -pelissä ajoneuvo on ilmassa leijuva vene, jonka keskellä pelaaja pystyy liikkumaan vapaasti. Venettä pystyy liikkuttamaan osoittamalla ohjaimella suuntaan, johon halutaan liikkua. Veneitä on valittavana useita erilaisia ja osa niistä peittää ympäristöä enemmän kuin toiset, minkä lisäksi pelissä on mahdollista laittaa veneen reunoille lisää näkösuojia. Kiintopisteitä on paljon ja ajoneuvon liikkues- sa koko vene näkösuojineen pysyy paikallaan pelaajan ympärillä. Playfulin Lucky's Tale -pelissä pelaaja ei liikuta itseään vaan leijailee taivaalla irtonaisena päänä, kuten pelissä Moss. Kun erillistä pelihahmoa liikuttaa, pelaajan näkymä seuraa liikkeitä pehmeästi perässä. Pelihahmo toimii pelaajan kiintopisteenä, sillä vaikka hahmo ei pysy paikallaan pelaajan näkymään nähden, siihen keskittyminen vähentää huomiota liikkeestä. Pelihahmo pyritään pitämään suhteellisen keskellä pelaajan näkymää, mutta hahmo voi tulla myös kameran etualalle tai hypätä näkymän yläreunaan.

Kiintopisteiden lisäksi paljon käytetty keino vähentää kyber-pahoinvointia on näkökentän rajaaminen. Käyttäjän näkymän pystyy rajaamaan hämärtämällä näkökentän reunoja, pienentämällä näkymä pieneksi ruuduksi mustan ympäristön keskelle tai pimentämällä koko näkymän liikkeen ajaksi. Näkökulman rajaaminen saattaa kuitenkin vähentää käyttäjän immersiota, jos hän huomaa sen. Ackermanin (2016) mukaan Ajoy Fernandesin ja Steve Feinerin tekemässä tutkimuksessa selvisi, että strategisesti rajaamalla näkökenttää saatiin vähennettyä käyttäjien kokemaa kyber-pahoinvointia vähentämättä immersiota. Ideana toimii muutossokeus; kun käyttäjä on keskittynyt katsomaan tiettyi-

hin pisteisiin VR-maailmassa, hän ei huomaa taustalla tapahtuvia muutoksia. Näkökenttää sumennettiin ja pimennettiin reunoilta hitaasti käyttäjän liikkuessa ja palautettiin vähitellen normaaliksi hänen ollessa paikallaan. (Ackerman 2016.)

Ubisoftin Eagle Flight -pelissä on käytetty monta keinoa pahoinvoinnin vähentämiseksi (kuva 13). Pelaaja kontrolloi kotkaa, joka lentää kaupungissa. Lentää voi avoimella taivaalla tai pienissä tunneleissa ja puiden välissä. Ohjainta käytetään vain vauhdin säätämiseen ja kääntyminen tapahtuu päätä liikuttamalla. Kiintopisteenä pelaajalla toimii kotkan nokka näkymän alareunassa ja kulmahöyhenet yläreunassa. Keskellä näkymää näkyy aina pieni piste, joka kertoo mihin suuntaan pelaajan kasvot ovat. Vauhdista riippuen erilaiset vauhtiviivat auttavat ymmärtämään hahmon vauhdin ja viemään huomiota pois liikkeestä. Kun pelaaja kääntää tai kallistaa päätään, pelinäkymän reunaan ilmestyy musta varjo, joka peittää näkymää yhdelle sivulle. Tiukoissa käänöksissä ja ahtaissa tunneleissa varjo peittää kaiken paitsi näkymän keskiosan. Pelaaja kuulee tuulen huminan, joka auttaa aivoja ymmärtämään, että liike tapahtuu.



KUVA 13. Eagle Flightin kiintopisteet ja näkymän rajausta (PC Gamers 2016)

## 4.5 Vapaa liikkuminen

Immersiivisimmän liikkumisvaihtoehdon on tehnyt mahdolliseksi sijainnin tunnistustekniikka, jossa käyttäjä liikuttaa näkymäänsä liikkumalla itse fyysisesti. Liikkumistekniikka on fyysistä ja VR-alue on rajattua. (Boletsis 2017.) HTC Viven Majakka-järjestelmä mahdollistaa tilassa vapaasti liikkumisen parhaimmillaan viiden metrin alueella. VR-maailman maa on lattian tasolla ja järjestelmä tunnistaa, jos käyttäjä menee kyykkyy tai hyppää. Tekniikan avulla käyttäjä pystyy kävelemään virtuaalisten objektien luokse, piiloutumaan niiden taakse ja katsomaan niitä joka suunnasta. (Steam Corporation. n.d. (A).)

Sijainnin tunnistustekniikan avulla liikkuesssa käyttäjä hyvin harvoin kokee pahoinvointia, sillä sekä näkökenttä että käyttäjä liikkuvat samassa suhteessa. Suurimmat ongelmat liikkumismuodossa ovat rajattu tila ja oikean ja virtuaalisen maailman erot. Fyysisen VR-alueen pystyy määrittämään itse tiettyjen kokorajoitusten sisällä, mutta VR-maailmassa, jossa täytyy liikkua paljon, tila loppuu jossain vaiheessa kesken. Kun todellista maailmaa ei näe VR-lasien läpi, saattaa käyttäjä kompastua alueella oleviin tavarihin ja törmätä seiniin. Jos virtuaalisessa maailmassa näkyy portaat, joilla ei ole todellista vastakappaletta, saattaa käyttäjä menettää tasapainonsa yrittäessään kulkea niistä. Virtuaalimaailmassa omaa liikkumista suhteessa oikeaan maailmaan on vaikea arvioida. HTC Vive on luonut avuksi Chaperone-järjestelmän, joka näyttää käyttäjä ympärillä fyysisen VR-alueen verkkona, mutta verkko rikkoo immersiota, eikä estä käyttäjää kävelemästä verkon ulkopuolelle. Käyttäjän liikkeet pystyy tunnistamaan parhaiten alueen sisältä ja alueelta poistuminen voi johtaa käyttäjä näkymän hallitsemattomaan liikkumiseen tai liikkumattomuuteen. Ongelmia voi syntyä myös, jos tunnistusjärjestelmät häiriintyvät esimerkiksi ohikulkevista ihmisistä.

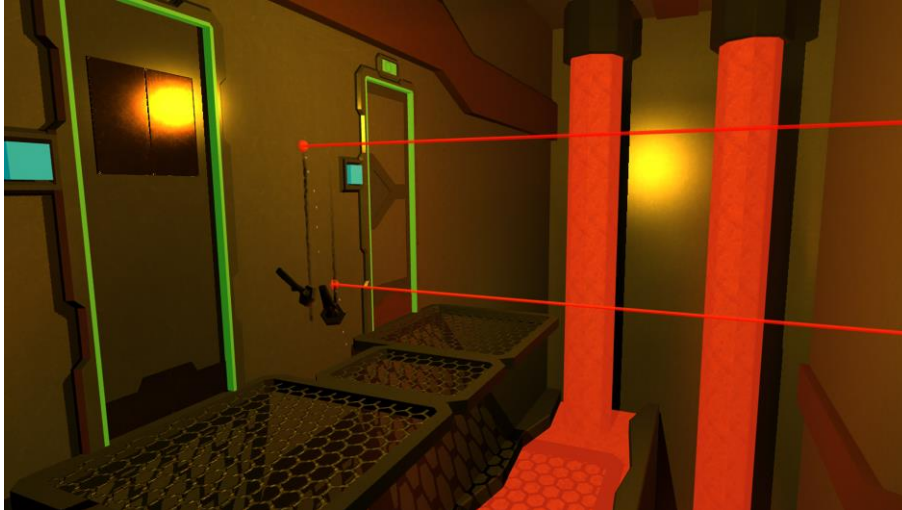
On olemassa viihdekeskuksia, joissa todellisen maailman seinät eivät tule virtuaalimaailmassa tielle. THE VOID (kuva 14) on sijaintiperusteinen VR-kokemus, jonka suuret fyysiset tilat ovat räätälöity täsmälleen samankokoisia VR-maailmoja varten. Jopa neljä käyttäjää pystyy olemaan yhtä aikaa samassa VR-maailmassa ja vuorovaikuttamaan maailman ja toistensa kanssa. Tiloissa on lämmittämiä lämpötilojen vaihteluita varten ja tärisemään pystyviä lattioita simuloimaan muun muassa hissiä. Tilojen seinät ovat paikoin tehty vaahtomuovista, ettei niihin törmäily sattuisi. Käyttäjien aseissa ja rinnalle

tulevissa liiveissä on sensoreita, jotka antavat haptista palautetta. THE VOIDin visiiri käyttää mixed reality (MR) -tekniikkaa pelaajan käsien realistiseen esittämiseen.



KUVA 14. THE VOID -kokemuksessa fyysiset objektit ovat osa virtuaalimaailmaa (The Void 2016)

Sovellusten kehittäjät ovat keksineet myös erilaisia tapoja kiertää sijainnin tunnistustekniikan ongelmia. Boletsis (2017) jakaa nämä ratkaisut paikallaan liikkumisen kanssa samaan luokkaan liikkeiden fyysisyyden, mutta VR-alueen rajoittumattomuuden takia, sillä ratkaisut mahdollistavat teoriassa ikuisesti jatkuvan alueen. Triangular Pixelsin pelissä Unseen Diplomacy (kuva 15) pelaajan tila ei lopu kesken, sillä pelaaja ohjataan kulkemaan pelialueella edestakaisin. Pelimaailma on täynnä mutkia ja käännöksiä niin, että pelaaja kokee kulkevänsä uuteen alueeseen, mutta käännökset tuovatkin pelaajan yhä uudestaan saman alueen sisälle. Tekton Gamesin kehittämä WalkAbout-tekniikassa käyttäjä saa kävellä vapaasti VR-alueella, ja kun alueen raja tulee vastaan, käyttäjä painaa painiketta, kääntyy ympäri ja jatkaa kävelemistä samaan suuntaan mistä tuli ilman, että VR-maailma kääntyy mukana. VR-maailmassa käyttäjä saattaa kulkea suoraa käytävää eteenpäin, mutta oikeassa maailmassa hän kävelee edestakaisin VR-alueen sisällä. Joissain peleissä, kuten Fantahorn Studion Front Defencessa, fyysinen VR-alue on ainoa alue, jolla pelaaja pystyy virtuaalimaailmassakin liikkumaan. Pelaaminen tapahtuu alueen sisällä, eikä pelaaja tai pelialue pysty vaihtamaan sijaintia ollenkaan.



KUVA 15. Unseen Diplomacyn pelialue mutkittelee paljon (Triangular Pixels n.d.)

VR-lasit päässään ihmisen on vaikeampi käsittää mihin suuntaan hän kävelee oikeassa maailmassa. VR-maailmaa varovaisesti kääntelemällä voi käyttäjää huijata kävelemään ympyrää silloin kun hän luulee kävelevänsä suoraan. Pohjois-Carolinan yliopistossa tehdyssä kokeessa laitettiin ihmiset kävelemään pitkää suoraa käytävää VR:ssä puolet pienemmässä fyysisessä tilassa ja he pääsivät käytävän loppuun asti kääntymättä tarkoituksella. VR-maailmaa pystyy kääntämisen lisäksi myös muuttamaan vähän ilman, että käyttäjä todennäköisesti huomaa eroa. Suman tekemässä testissä VR-maailman ovia käännettiin 90 astetta käyttäjien takana ilman että 99 % heistä huomasi muutosta. Käyttämällä uudelleenohjattua liikettä VR-maailmasta voi tehdä käytännössä rajattoman ilman, että käyttäjä poistuu fyysiseltä VR-alueelta. (Zhang 2015.)

#### 4.6 Paikallaan liikkuminen

Yksi keino kyber-pahoinvoinnin vähentämiseen on näkymän liikuttaminen paikallaan liikkumisella. Koska tunnetuimmissa VR-laitteissa on vain käsille sensorit, käsien käyttäminen liikkumiseen on luontevin valinta. Liikkeeseen perustuva liikkuminen on fyysistä liikkumista, jonka pelialue on rajaamaton (Boletsis 2017). Paikallaan liikkumisella ihmisen aivot ymmärtävät olevansa liikkeellä, eikä ristiriitaa fyysisen liikkumattomuuden ja liikkumisen tunteen kanssa tule herkästi. Ongelmina käsien avulla liikkumisessa



on, että se saattaa rajata asioita, joita projektissa pystyy tekemään ja paikallaan liikkuminen saattaa tuntua raskaammalta kuin fyysisesti liikkuminen.

Brian Lindenhofin kehittämässä Paintey-pelissä liikkuminen tapahtuu melkein täysin käsien avulla. Pelissä voi hyppiä ja kiipeillä rakennuksien seinillä ja katoilla. Pelihahmolla ei edes ole jalkoja. Pelaaja pystyy ottamaan ohjaimilla kiinni virtuaalisesta pinoista ja puskemaan itseänsä ilmaan tai vaihtamaan suuntaa ympärillään olevasta vyöistä. Käsiiä käytetään kiipeilyn lisäksi kävelyyn Game Cooksin Vindicta-nimisessä pelissä. Kummankin Vive-ohjaimen kosketuslevyä pohjaan painamalla ja heiluttamalla käsiä edestakaisin hahmo liikkuu katsomissuuntaan. Heiluttamalla käsiä nopeammin tai hitaammin pystyy määrittämään liikkumisnopeutta. Psytec Games Ltd:n Windlandsissa on mahdollista liikkua keinotekoisesti ohjaimella avulla sekä fyysisesti ohjaimia liikuttamalla. Pelissä on pieniä saaria, joissa pelaaja on vapaa seikkailemaan. Pelaajan käsissä on heittokoukut, joiden avulla hän voi tarttua kiinni puihin ja keinuttaa itsensä eteenpäin. Koukkujen avulla voi myös kiipeillä.

Käsiohjainten lisäksi VR-projekteilla on mahdollisuus jäljittää VR-lasien liikettä. Huge Robotin tekemä The Freedom Locomotion System on VR-sovellus, joka esittää erilaisia tapoja liikkua VR:ssä. Controller assisted on the spot (CAOTS) -liikkumistapa liikuttaa käyttäjän näkymää hänen päänsä ja käsiensä liikkeiden perusteella. Käsien ohjaimia käytetään osoittamaan suuntaa ja varmistamaan, että halutaan liikkua. Itse liikkuminen tapahtuu pään liikkeiden perusteella. Järjestelmä perustuu ihmisen kävelemisessä tapahtuvaan pieneen päänliikkeeseen ylös ja alas. Mitä kovemmin päätä heiluttaa korkeussuunnassa, sitä nopeammin näkymä kulkee. Lisävauhtia saa heiluttamalla käsiä edestakaisin. Käyttäjän ei tarvitse tarkoituksella heiluttaa päätään, vaan liike syntyy itsestään kun hän kävelee paikallaan.

On kehitetty erilaisia apuvälineitä, jotka auttavat tunnistamaan käyttäjän liikkeitä tai mahdollistavat helpommin paikallaan liikkumisen. Apuvälineet ovat usein kalliita, mutta auttavat sekä vähentämään kyber-pahoinvointia huomattavasti että lisäämään immersiota. Ne vievät kuitenkin usein ison tilan, eivätkä takaa täysin luonnollisen tuntuista liikkumista.

Tunnetuimmat apuvälineet ovat erilaiset VR-juoksumatot. Cyberith Virtualizer on Cyberith GmbH:n kehittämä VR-juoksumatto, joka mahdollistaa ihmisen kävelyn, juok-

sun, 360 asteen kääntymisen, hyppäämisen, kumartumisen ja jopa istumisen VR:ssä. Laite koostuu tasaisesta alustasta, joka tunnistaa ihmisen jalkojen liikkeitä, ja kehikosta, joka tunnistaa hänen pystysuuntaisen liikkeen (kuva 16). Kehikkoon voi kiinnittää telinettä, joka auttaa pitämään VR-lasien ja kuulokkeiden johdot pois käyttäjän tieltä. Kehikko pystyy myös antamaan haptista palautetta. Cyberith Virtualizer on yhteensopiva Viven kanssa. (Cyberith GmbH 2014.)



KUVA 16. Cyberith Virtualizer -juoksumatto (Cyberith GmbH n.d.)

Leap Motion on VR-laseihin kiinnitettävä lisälaitte, joka tunnistaa käyttäjän kädet ja näyttää ne VR:ssä. Lisälaitte tunnistaa myös käsien ja sormien liikkeitä ja eleitä ja mahdollistaa VR:ssä liikkumisen niiden avulla. (Leap Motion n.d.). Eleitä voivat olla muun muassa osoittaminen ja käsien tai sormien heiluttaminen, joiden avulla voi esimerkiksi lähteä liikkeelle, pysähtyä ja valita asioita valikoista. WalkOVR on kokoelma langattomia sensoreita, joilla pystyy tunnistamaan ihmisen jalkojen liikkeitä. Nauhoihin kiinnitettyt sensorit kiinnitetään polvien ylä- ja alapuolelle ja päälaitte alaselkään, ja käyttäjän liikkeet siirretään Bluetoothin kautta virtuaalimaailmaan. Ihminen itse liikkuu paikallaan, joten mitään suuria kehikoita ei tarvitse. (WalkOVR n.d.) WalkOVR ja Leap Motion ovat yhteensopivia Viven kanssa.

Virtuaalitodellisuus soveltuu hyvin kuntoutukseen ja liikuntaan, ja sille on kehitelty tasapainoa ja jalkalihaksia harjoittavia apuvälineitä. Visospace on kehittämässä AI-

to100-tasapainolautaa VR:lle, jolla käyttäjä pystyy liikuttamaan näkymäänsä siirtämällä painoa eri puolille lautaa (Bashara 2018). Icaros on sekä tasapainoa että lihaksia harjoitettava suurikokoinen VR-laite, jossa käyttäjä makaa vatsallaan laitteessa ja liikuttaa laitetta eri suuntiin. Laite harjoittaa käsi-, jalka- ja vatsan seudun lihaksia. (Forsyth 2017.) VirZOOM on melkein mihin tahansa kuntopyörään liitettävä laitekokonaisuus, joka toimii yhteen tunnetuimpien VR-lasien kanssa. Yrityksellä on myös oma kevyt kuntopyörä myytävänä. Käyttäjä liikuttaa näkymäänsä pyörilemällä eteen ja taaksepäin ja VirZOOMin virallisella pyörällä kääntyy nojaamalla sivuille. (Steam Corporation n.d. (B).)

## 5 LIKKUMINEN MUUMI-TALOSSA

### 5.1 Muumimuseo ympäristönä

Muumimuseossa on vierailut ensimmäisen vuotensa aikana yli 100 000 asiakasta (Muumimuseo 2017). Jo ennen muuttoa omiin museotiloihin, näyttelyllä oli noin 40 000 vuotuista kävijää, joista 85 prosenttia oli ulkomaalaisia. Valtaosa kävijöistä oli Aasiasta. (Kanninen 2015.) Muumi-Talon mobiilisovelluksessa on valittavana kieleksi suomi, englanti, ruotsi, venäjä ja japani.

Muumi-TaloVR on suunniteltu käytettäväksi vain Muumimuseossa ja keskimääräinen käyttökerta kestää arviolta noin kahdesta viiteen minuuttia. Sovelluksen tärkein tarkoitus on esitellä Muumi-Talo-teosta, eikä liikkuminen saa viedä huomiota liikaa pois itse teoksesta. Sovelluksessa ei ole juonta, eikä käyttäjän ole pakko käydä missään tietyssä huoneessa, vaan se on tarkoitettu vain Muumi-Talon tarkempaan tarkasteluun ja monen ensimmäiseksi VR-kokemukseksi. Muumimuseon tiloissa ollessaan sovellus ei saa viedä tilaa museon teoksilta, joten VR-alue tulee olemaan pieni. Projektin toimisi parhaiten omassa huoneessaan, jossa käyttäjä ei voisi törmäillä tavaroihin tai muihin museon vierailijoihin, eivätkä museon äänet häiritsisi sovelluksen käyttäjää. Projektista yritettiin tehdä mahdollisimman helppokäyttöinen minimoimalla valikoiden, käyttöliittymien ja tekstin määrää.

Osassa VR-projekteja tarjotaan käyttäjälle vaihtoehtoisia liikkumistapoja, mutta Muumi-Taloon ei nähty tarpeelliseksi lisätä sellaisia. Lopullisessa projektissa pystyy liikkumaan kolmella eri tavalla, joista yksikään ei korvaa toista. Projektissa hyödynnetään sekä keinotekoisia että fyysisiä liikkumistapaa. Täysin uudenlaisia liikkumistapoja ei resursseista johtuen kehitetty.

### 5.2 Talon sisällä liikkuminen

Muumi-TaloVR:n pääsääntöiseksi liikkumistavaksi valittiin teleporttaaminen (kuva 17), jolloin käyttäjän ei tarvitse liikkua fyysisesti eikä hahmon siirtymistä paikasta toiseen näytetä. Liikkuminen tapahtuu painamalla ohjaimen kosketuslevyä ja tähtäämällä oh-

jainta siihen kohtaan lattiaa, johon tahdotaan siirtyä. Kun painikkeesta päästetään irti, käyttäjän näkymä siirtyy uuteen paikkaan. Näkymä muuttuu siirtymäajaksi mustaksi, jotta mahdollista hämmennystä ja pahoinvointia pystytään vähentämään. Käyttäjälle musta välähdys muistuttaa silmän räpäystä ja se on niin nopea, että sitä on vaikea havaita. Kun testaajat olivat kerran onnistuneesti teleportanneet, he oppivat liikkumistavan nopeasti.



KUVA 17. Käyttäjä (oikealla) painamassa ohjaimen teleport-painiketta pohjaan

Mobiilisovelluksessa liikkuminen on nopeatempoista ja tasaista. Jos liikkuminen olisi otettu VR-kokemukseen suoraan mobiilisovelluksesta, se olisi ollut ohjaimella liikkumista ja todennäköisesti aiheuttanut herkästi pahoinvointia käyttäjissä. Nopean vauhdin takia käyttäjän olisi voinut olla vaikea hallita liikkeitään ja keskittyä ympäristöönsä. Mobiiliversiossa käyttäjä pystyy katsomaan ympärilleen vaikuttamatta kulkusuuntaan. Virtuaalitodellisuudessa kääntyminen olisi siten pitänyt hoitaa joko ohjaimen kosketuslevyllä tai osoittamalla ohjaimella suuntaa johon halutaan kävellä. Muumi-Talon huoneet ovat suhteellisen pieniä ja talossa on monta ahdasta portaikkoa ja tiukkaa käännoästä. Kuvista 18 ja 19 näkee alakerrassa sijaitsevan ahtaan puuvajan, jossa käyttäjä ei mahtuisi ottamaan montaa askelta törmäämättä seiniin ja huonekaluihin, ja keittiöstä lähtevän portaikon, joka tekee kaksi tiukkaa käännoästä peräkkäin niin että käyttäjä kääntyy yhteensä 180 astetta kolmella askelmalla. Ohjaimella liikkuminen olisi voinut olla

vaikea ohjattava näin pienissä tiloissa. Vauhdin olisi pitänyt olla tarpeeksi hidas, että kävellessä olisi ehtinyt katsoa ympärilleen ja törmäilyä ympäristöön olisi voinut välttää.



KUVA 18. Puuvaja on talon ahtaimpia tiloja



KUVA 19. Jyrkästi nousevat ja kääntyvät portaat

Tiukat käännökset ja ahtaat käytävät ovat ongelma teleporttaamisessakin, sillä käyttäjä saattaa siirtyä niin lähelle seinää tai kattoa, että näkee niiden sisälle. Ongelmaa yritettiin vähentää pienentämällä aluetta, jolle käyttäjä pystyy siirtymään portaissa ja pienentämällä myös käyttäjää, jotta se mahtuisi paremmin ahtaimpiin paikkoihin. Kuvassa 20 näkyy Muumi-Talon matalin kohta, jossa käyttäjä pystyy liikkumaan teleporttaamalla. Vaikka käyttäjää pienennettiin, pitkä ihminen saattaa mennä kyseisessä kohdassa katon lävitse. Käyttäjää ei pienennetä lisää sillä hän on muuhun taloon nähden sopivan kokoinen. Vaihtoehtona olisi näkymän koon muuttaminen ihmisen pituuden mukaan, jolloin jokainen käyttäjä olisi yhtä korkea Muumi-Talossa kulkiessaan.



KUVA 20. Matalin portaikko, jossa käyttäjä saattaa mennä katon lävitse

Tiukimmassa käännöksessä useat testaajat hämmentyivät siitä, mihin suuntaan he katsovat ja mistä suunnasta he ovat tulleet. Käyttäjän pitää fyysisesti kääntyä ympäri nähdäkseen tulo- ja menosuuntansa. Yksi ratkaisu olisi ollut kääntää hahmoa digitaalisesti siirtämisen yhteydessä, niin että portaissa käyttäjän näkymä olisi aina siihen suuntaan, mihin portaat johtavat. Toinen ratkaisu olisi ollut hoitaa kerrosten välillä siirtyminen muuten kuin portaiden kautta. Ylempään kerrokseen voisi helposti siirtyä katon lävitse kuin hissillä tai astumalla ensimmäiselle portaalle, joka siirtäisi hahmon rappusten vii-

meiselle portaalle. Kokematon VR:n käyttäjä saattaisi kuitenkin siirtyä vahingossa ylempään kerrokseen, minkä lisäksi on epä johdonmukaista että katon läpi pääsisi siirtymään ylempään kerrokseen, mutta lattian läpi ei pääse alempaan kerrokseen.

Ohjaimesta lähtevän kaaren päähän laitettiin kengänjälkien kuva, jotta käyttäjä ymmärtää, että hän on siirtymässä niiden kohdalle (kuva 21). Käyttäjä seisoo yleensä siihen suuntaan, johon osoittaa ohjaimella, jolloin kengänjäljet kertovat myös mihin suuntaan käyttäjä on siirtymisen jälkeenkin. Kengänjäljet osoittavat aina ohjaimen päästä suoraan eteenpäin, mutta jos ihminen seisoo eri suuntaan kuin osoittaa, hän on edelleen samaan suuntaan siirtymisen jälkeen. Tällaisessa tilanteessa kengänjäljet eivät kerro mihin suuntaan käyttäjä on siirtymässä. Sovellukseen toteutettiin toinenkin vaihtoehto, jossa kengänjäljet osoittavat aina siihen suuntaan, johon käyttäjän pää on käännettynä. Käyttäjä näkee selvästi mihin suuntaan hän on siirtymässä ja pystyy ennakoimaan esimerkiksi portaissa kääntymistä. Kengänkuvat auttoivat testaajia ymmärtämään mihin suuntaan he ovat siirtymässä, mutta pari testaajaa luulivat, että kengän kuvan kohdalle piti fyysisesti astua.



KUVA 21. Kengänjälkien kuva näyttää käyttäjälle mihin hän tulee siirtymään



Talosta löytyvät tikapuut, joita käyttäjä voi halutessaan kiivetä. Aluksi jokaiselle askelmalle laitettiin mahdollisuus siirtyä, mutta testaajilla oli vaikea hahmottaa mille askelmalle hän tulee siirtymään. Lopullisessa versiossa tikapuut ovat yksi isompi törmäyspinta, jolloin käyttäjän on helppo vaihtaa askelmaa milloin tahansa, eikä hänen tarvitse edes tähdätä askelmille, vaan myös niiden välissä oleviin tiloihin voi siirtyä. Myös portaat kokivat samanlaisen muutoksen, sillä aluksi vain portaiden vaakatasossa oleville pinnoille pystyi siirtymään, mutta nyt myös askelmien väliin pääsee siirtymään. Käyttäjän ei tarvitse tähdätä tarkasti liikkuessaan portaissa, eikä askelmien välissä seisominen näytä oudolta VR-lasien kautta katsottuna.

Aluksi Muumi-Taloon suunniteltiin enemmän kävelyä muistuttavia liikkumistapoja. Tarkoitus oli pystyä siirtymään vain pieniä askelia kerrallaan, jolloin tähtääminen olisi ollut tarkempaa ja liikkuminen hitaampaa ja realistisempaa. Testauksessa huomattiin kuitenkin, että ihmiset halusivat siirtyä kerralla pidempiä matkoja. Monet halusivat siirtyä talon ulkopuolella olevaan pilveen talon sisältä asti ja kulkea mahdollisimman vähän portaissa. Siirtymisetäisyyttä kasvatettiin niin, että talosta pääsee siirtymään pilveen ja pilvestä taloon missä vaiheessa tahansa (kuva 22). Tällä tavalla minimoitiin siirtymisten määrä, sillä käyttäjät pääsevät yhdellä askeleella talon toiselle puolelle asti.



KUVA 22. Talon sisältä pystyy siirtymään pilveen yhdellä askeleella

### 5.3 Pilvellä talon ympäri

Muumi-Talon ulkopuolelta löytyvä pilvi mahdollistaa teoksen katsomisen ulkoa ja ylhäältä päin. Oletuksena pilvi löytyy talon vierestä teoksen ulkopuolelta (kuva 23). Pilven ympärillä ei ole paikkoja, joihin siirtyä, mutta pilvessä itsessään on keskellä yksi teleportpiste, johon käyttäjä pystyy siirtymään. Teleportpiste määrittää käyttäjän sijainnin tarkkaan pilven keskelle, jolloin hän pääsee suoraan parhaalle paikalle. Pilven toteutettiin ohjaimella liikkuminen niin, että ohjaimen olkapainiketta painaessa pilvi liikkuu ja käyttäjän näkymä liikkuu samalla. Pilvi lähtee liikkeelle hitaasti kun painiketta painetaan ja pysähtyy pehmeästi kun painikkeesta päästetään irti. Pilvi liikkuu hitaasti, että käyttäjä pystyy katsomaan rauhassa ympärilleen. Käyttäjällä on pieni mahdollisuus hetkelliseen huimaukseen kun pilvi lähtee liikkeelle tai pysähtyy.



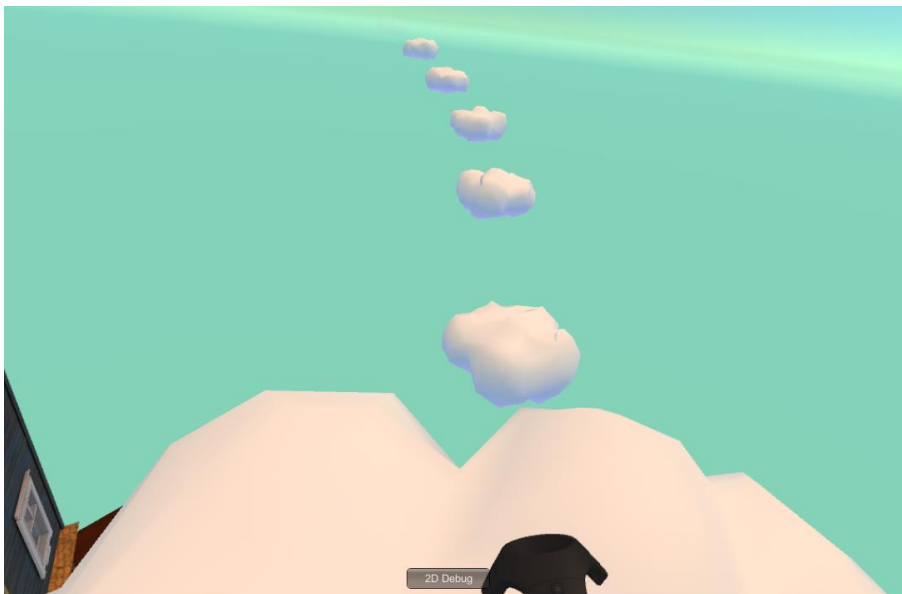
KUVA 23. Pilvi löytyy aina talon vierestä

Kyber-pahoinvointia on yritetty vähentää laittamalla kiinnepisteitä. Pilvi itsessään toimii kiinnepisteenä, sillä se pysyy koko ajan paikallaan käyttäjään nähden (kuva 24). Toinen kiinnepiste on Muumi-Talo, joka pysyy aina käyttäjän näkökentän keskellä, ellei hän itse käännä katsettaan pois. Pilvi kiertää teoksen ympäri melko tasaisen välimatkan päässä talosta. Pilvi jättää vanan pienempiä pilviä jälkeensä, joista pystyy parhaiten nä-

kemään pilven liikkeen (kuva 25). Pilven liike on mahdollista pysäyttää välittömästi ja käyttäjä pystyy siirtymään takaisin Muumi-Taloon missä välissä tahansa. Sovelluksessa on mahdollista seisoa ilmassa ilman pilveä näköesteenä, jos pilvestä kävelee tietoisesti pois. Ilmasta pääsee siirtymään Muumi-Taloon milloin tahansa.

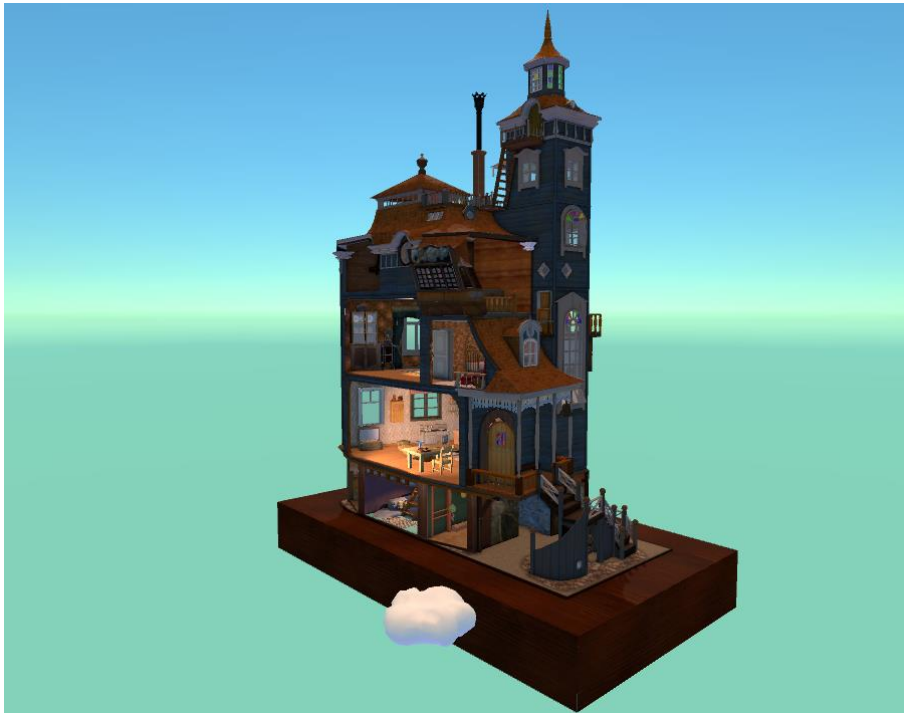


KUVA 24. Pilvi ja Muumi-Talo toimivat kiintopisteinä



KUVA 25. Pilvi jättää vanan pikkupilviä peräänsä

Vaihtoehtoina pilvelle olivat useat teleportipisteet, joiden välillä käyttäjä olisi voinut siirtyä tähtämällä seuraava pistettä. Pisteet olisivat voineet olla kiinni objekteissa tai leijua ilmassa, jolloin Muumi-Taloa olisi voinut katsoa ilman näköesteitä. Pisteestä toiseen siirtyminen ei olisi aiheuttanut pahoinvointia, mutta ilmassa seisominen olisi voinut aiheuttaa korkeanpaikankammoa. Pisteiden välillä siirtyminen ei olisi itsestään selvää ja seuraavan pisteen löytäminen olisi oma haasteensa käyttäjälle. Yksi vaihtoehto olisi ollut laittaa taivaalle lyhyen etäisyyden päähän toisistaan monta pilveä, joiden välillä olisi voinut siirtyä. Toinen vaihtoehto pilvelle olisi ollut ympäristön mallintaminen talon ympärille. Mäkien päältä olisi voinut katsoa taloa ylhäältä päin ja teleporttaamisen lisäksi ei olisi tarvittu muita liikkumismuotoja. Ympäristön mallintaminen olisi vienyt pois testaaajien hämmennystä, sillä osa testaaajista luuli talon kelluvan meren päällä, koska sitä ympäröi joka suunnasta taivas, joka muuttuu sinisestä vihertäväksi. Ympäristö olisi kuitenkin vienyt paljon huomiota pois itse teoksesta, jota ei saa muokata ja johon ei haluttu lisätä ylimääräistä. Projektissa Muumi-Talo leijuu tyhjiydessä (kuva 26).



KUVA 26. Talo leijuu tyhjiydessä

## 5.4 Vapaa kulkeminen

Koska VR-kokemus on tehty ensisijaisesti Vivelle, oli roomscale- ja chaperone-ominaisuuksien käyttöönotto helppo ratkaisu. Lopullisen sijoituspaikan koko määrittää miten iso VR-alueesta tulee. Chaperone-ominaisuus näyttää käyttäjälle verkon ympärillään kun käyttäjä lähestyy alueen rajaa. Kävelemisen lisäksi käyttäjä pystyy kumartumaan, hyppäämään, kurkottelemaan ja katsomaan talon tavaroita ja monia yksityiskohtia niin läheltä kuin fyysisesti mahdollista.

Muumi-Talossa 3D-mallintaessa on jätetty talon sauna, wc ja majakka mallintamatta sisäpuolelta, sillä teoksesta niitä pystyy näkemään vain ikkunoiden kautta. 3D-mallissa ikkunoista ei näe lävitse ja vain suljetut ovet vihjaavat, että huoneet ovat olemassa (kuvat 27 ja 28). Koska huoneissa on ovet ja ikkunoita, joiden viereen pystyy siirtymään, oli monien testaajien oletus, että huoneisiin pystyisi pääsemään sisälle. Teleporttaamalla liikkua paikasta toiseen nämä huoneet, kaikki huonekalut ja seinät pystyttiin rajaamaan käyttäjän alueen ulkopuolelle estämällä niiden läheisyyteen siirtyminen, mutta vapaasti liikkua käyttäjä pystyy helposti kävelemään niiden sisälle. Seinien ja tavaroitten sisälle vahingossa käveleminen rikkoo immersion ja saattaa hämmentää käyttäjän. 3D-mallien seinien sisäpuoli näyttää hyvin erilaiselta ulkopuoleen verrattuna, mikä lisäksi joissain peleissä seinien läpi kävelemisellä voisi pystyä pilaamaan pelin idean ja huijata itsensä voittoon. Muumi-Talon saunan sisälle kävelevä näkee seinien ja katon läpi, ja vain lattia ja seinien ikkunat näkyvät paikallaan (kuva 29). Majakan sisällä käyttäjä näkee vain harmaita seiniä.



KUVA 27. Saunan ja wc:n ovi, joka ei johda mihinkään.



KUVA 28. Majakan ovi



KUVA 29. Saunan sisälle kävelevä käyttäjä näkee seinien ja katon lävitse

VR-peleissä ongelma on usein ratkaistu pimentämällä pelaajan koko näkymä tai näyttämällä varoituksen pelaajan näkymässä kun hän kävelee liian lähelle objekteja. Yksi vaihtoehto on työntää koko VR-maailmaa käyttäjän mukana niin, että käyttäjän etäisyys lähimpään objektiin pysyy samana kun hän yrittää kävellä lähemmäksi. Toinen vaihtoehto on siirtää käyttäjä kauemmas objektista kun hän varoituksista huolimatta kävelee sen sisälle. Radikaalisin vaihtoehto olisi olla ottamatta vapaata liikkumista käyttöön ollenkaan, jolloin käyttäjä pystyisi liikkumaan pelissä vain ohjaimella siirtymällä. Muumi-Talossa päädyttiin jättämään mahdollisuus kulkea seinien lävitse ilman seuraamuksia. Mahdollisuus kävellä seinien ja katon lävitse vahingossa minimoitiin pienentämällä hahmoa sovelluksen sisällä.

## 5.5 Ohjeet hyvin näkyville

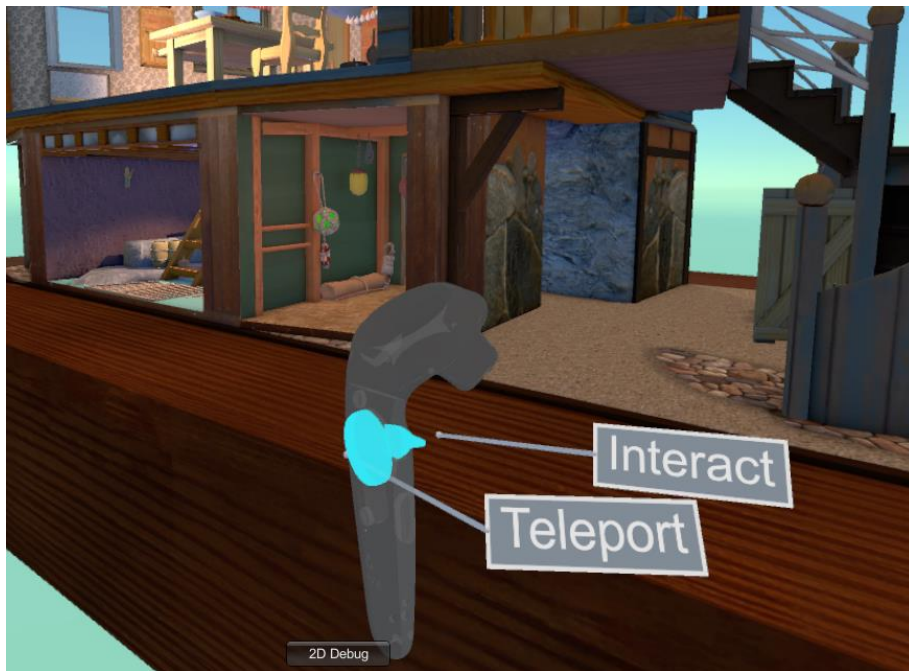
Kun käyttäjä laittaa VR-lasit päähän, näkymään ilmestyy yksinkertainen ruutu, joka näyttää hänelle, kuinka Muumi-Talossa siirrytään paikasta toiseen (kuva 30). Ruutu ilmestyy sovelluksen päälle, eikä käyttäjä pysty liikkumaan muuten kuin seuraamalla ruudun ohjeita. Kun käyttäjä siirtyy ensimmäisen kerran, ruutu häviää ja käyttäjä löytää itsensä Muumi-Talon kuistilta.



KUVA 30. Suunnitelma ohjeruudusta, joka ilmestyy heti sovelluksen käynnistyttyä

Aina kun edellisestä liikkumisesta on 15 sekuntia, ohjaimen ilmestyy ohjeet teleporttaamiseen. Ohjaimen kosketuslevy välkkyvä saman värisenä kuin teleportkaari, sen vieressä lukee oletuksena teksti ”Teleport” ja ohjain tärisee sekunnin välein kunnes käyttäjä koskettaa levyä (kuva 31). Ohjaimen värinäominaisuus on laitettu, että käyttäjät ymmärtävät katsoa ohjainta, jos eivät ymmärrä mitä pitää tehdä. Kosketuslevyä pohjaan painaessa ohjaimen päästä lähtee kaari, jonka toisessa päässä on sininen ympyrä, jonka keskellä on kengänjäljet. Ympyrä näyttää käyttäjälle paikan ja kengänjäljet suunnan, johon hän siirtyy päästäessään irti kosketuslevystä. Jos ohjaimella osoitetaan Muumi-Talon seiniä, kattoja tai huonekaluja, tulee sinisen tilalle punainen ympyrä, jonka sisällä on kengänjälkien sijaan iso rasti (kuva 32). Kuvake ja väri yrittävät viestiä, ettei paikkaan pysty siirtymään. Jos käyttäjä päästää irti kosketuslevystä silloin, hän ei siirry mihinkään. Joissain VR-projekteissa kaikki lattiapinnat loistavat kun käyttäjä painaa teleport-painiketta pohjaan. Käyttäjä pystyy näkemään heti kaikki paikat, jonne pystyy siirtymään, mutta alue näyttää sekavalta, jos pintoja on paljon. Muumi-Talossa on monta kerrosta ja portaat kerrosten välillä, joten alueiden korostaminen olisi ollut sekavaa esimerkiksi korkeimmasta kerroksesta alaspäin katsottuna.





KUVA 31. Teleport ja interact -vihjeet ohjaimessa yhtä aikaa



KUVA 32. Teleport-ympyrä kun käyttäjä tähtää huonekaluja ja seiniä

Pilven keskelle siirtyessä ohjaimen tulee ohjeet pilven liikuttamiseen. Ohjaimen olkapainike välkkyi sinisenä, teksti ”Interact” lukee vieressä ja ohjain tärisee (kuva 31). Ohje katoaa, kun käyttäjä painaa olkapainiketta ja ilmestyy uudelleen kun olkapainiketta ei olla painettu 15 sekuntiin. Ohjaimen valikko-painikkeesta sovelluksen voi käynnis-

tää uudelleen. Painiketta painaessa pohjaan se muuttuu siniseksi ja teksti ”Restart” tulee esiin. Ohjain tärisee jatkuvasti ja koko ajan kovemmin mitä pidempää painiketta painaa pohjaan. Viiden sekunnin päästä sovellus alkaa alusta. Myös, jos kukaan ei pidä VR-laseja päässään kymmeneen sekuntiin, sovellus käynnistyy uudestaan. Ennen uudelleen käynnistymistä projekti varoittaa tekstillä ”Restarting in X seconds”, jossa X on jäljellä olevat sekunnit. Jos käyttäjä laittaa lasit päähän ennen kun kymmenen sekuntia on kulunut, teksti häviää, eikä sovellus käynnisty uudelleen. Automaattinen uudelleenkäynnistys on suunniteltu niin, että uusi käyttäjä pääsisi aloittamaan sovelluksen aina alusta ja näkisi ohjeruudun ennen kuin pääsee itse Muumi-Taloon.

Suurin ongelma Muumi-TaloVR:ssä oli saada kokemattomat käyttäjät tajuamaan, miten projektissa liikutaan. Ohjaimen lisätyt visuaaliset vihjeet ja värinällä toimiva muistutustekniikka auttoivat testaaajia ymmärtämään, mitä pitää tehdä, mutta osa testaaajista ei huomannut, että ohjaimen pystyi näkemään virtuaalisesti. Jos ohjainta ei katsonut värinästä huolimatta, ei siinä näkyviä ohjeita nähnyt. Osa testaaajista ei käsittänyt fyysisen ja digitaalisen tilan eroja, ja huomattuaan, että Muumi-Talossa voi liikkua fyysisesti, eivät he muistaneet ohjaimella liikkumista enää. He kulkivat digitaalisessa maailmassa kuin se olisi saman kokoinen kuin fyysinen tila ja siten meinasivat törmätä seiniin ja huonekaluihin. Monien testaaajien keskittyminen meni täysin uuteen kokemukseen, eivätkä he kuulleet ohjeita. Tämän takia projektiin koettiin tarpeelliseksi ottaa käyttöön aloitusruutu, josta ei pääse Muumi-Taloon ennen kuin on kerran siirtynyt onnistuneesti.

Aluksi sovelluksen kaikki tekstit olivat vain englanniksi, mutta koska museon kaikissa teoksissa mobiilisovellus mukaan laskettuna on kielivalinnat, oli johdonmukaista ottaa ne käyttöön VR-sovelluksessakin. Projektin kieli on oletuksena englanti, mutta kielen saa vaihdettua suomeksi, ruotsiksi, venäjäksi ja japaniksi. Kielivalinnat löytyvät sovelluksen alussa olevasta ohjeruudusta, josta niitä voi vaihtaa ohjaimen olkapainikkeella. Valittuja kieliä ymmärtämättömien varalta projektin alkuun laitettiin visuaaliset ohjeet siirtymiseen.

Muumi-TaloVR on tarkoitettu kaikenikäisille ja -kokoisille ihmisille kulttuurista riippumatta. Sovellusta pystyy käyttämään istualtaan, eikä liikkumiseen tarvitse kuin yhden käden ohjaimelle. Viven visiiri sopii käytettäväksi useimpien tavallisten silmälasien kanssa (Steam Corporation. N.d. (A)). Lukutaitoa ei tarvitse ohjaimen visuaalisen oh-

jeistuksen takia. Muumimuseolle tulevassa visiirissä olisi hyvä olla valmiiksi kiinnitettyinä pienet kuulokkeet, että sovelluksen käyttämiseen ei tarvitse erillisiä kuulokkeita.

## 6 POHDINTA

Muumi-TaloVR luotiin aluksi vain pikaiseksi demonstraatioksi VR:stä ihmisille, joista useimmat eivät aiemmin olleet kokeilleet virtuaalitodellisuutta. Se loi turvallisen ympäristön kokeiluun, sillä projektissa ei ole mitään mahdollisuutta hävitä peliä eikä VR-maailma ole suuri tai täynnä asioita, joita pitää tehdä. Aluksi sovelluksessa oli hyvin yksinkertainen teleporttaus-tekniikka, jossa oli mahdollista vahingossa siirtyä väärin paikkoihin, eikä liikkumista oltu rajattu tarpeeksi. Silti sovellus oli hyvin suosittu ja huomattiin, että monet halusivat kokeilla sitä uudestaan. Sen jälkeen koko liikkumisteknikka luotiin uudestaan ja projekti koki paljon muutoksia ja monta variaatiota.

Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää VR-projektiin parhaat tavat liikkua. Vaikka teleporttaaminen voi olla kokemattomalle käyttäjälle vaikea ymmärtää, oli se kätevin ja vähiten pahoinvointia aiheuttava liikkumistapa Muumi-Taloon. Pilvellä liikkuminen yritettiin tehdä mahdollisimman miellyttäväksi, mutta se saattaa silti aiheuttaa huimausta ja korkeanpaikan kammoa käyttäjissä. Vapaa liikkuminen toi projektiin paljon haasteita, mutta se auttoi immersion syntymisessä ja kokemuksen hienommaksi tekemisessä.

Työn suurimmaksi haasteeksi tulivat VR:ää aiemmin käyttämättömät ihmiset, joille sekä teleporttaus-tekniikka että ohjaimella liikkuminen tuntuivat vierailta. Useilla testaajilla oli jäänyt aiemmasta VR-kokeilusta huonoja kokemuksia ja he eivät uskaltaneet liikkua paljon, ettei tulisi kyber-pahoinvointia. Käyttäjää yritetään opettaa liikkumaan alun tietoruudulla ja ohjaimen muistutuksilla, mutta täysin immersoituneina virtuaali-maailmaan he saattavat unohtaa ohjaimella liikkumisen kokonaan. Jos ongelma on käytössä yleinen, voi projektiin kehittää lisää ohjeita, jotka ilmestyvät käyttäjän näkymään kun hän kävelee päin virtuaalisia esteitä tai lähestyy VR-alueen rajoja.

Muumimuseolla sovellusta tulee käyttämään moni ihminen, jotka eivät ole kokeilleet VR:ää aiemmin, joten oli tärkeää, että sovelluksen ohjeet ovat tarpeeksi selvät. Aluksi projektiin ei haluttu ohjeruutuja tai kielivalintoja, mutta testauksissa ilmeni, että ne ovat tarpeellisia. Testitilanteissa ihmiset, jotka olivat aiemmin käyttäneet VR:ää, tajusivat yleensä hetkessä kuinka Muumi-Talossa liikutaan. Todennäköisesti VR-projektia näytetään museolla vain erityisissä tilaisuuksissa, jolloin yksi museon työntekijöistä pystyy olemaan käyttäjän apuna ja neuvomaan laitteiden käytössä.

Opinnäytetyön tekeminen opetti paljon virtuaalitodellisuuden kehittämisen haasteista ja testauksen tärkeydestä. Testata olisi voinut enemmänkin. Myös projektin parissa tapauksia olisi voinut olla paljon enemmän. Projektin loppuvaiheessa pohdittiin sovelluksen tekemistä myös Oculus Golle, joka on pieneen tilaan menevä VR-laite, jolla Muumi-TaloVR:ää olisi helppo viedä näyttille muualle Suomeen ja ulkomaille. Oculus Go ei pysty hyödyntämään roomscale-ominaisuutta, jolloin projektin liikkumistavoista poistuisi vapaasti liikkuminen. Jatkokehityksenä projektiin voisi kehittää uuden fyysisen liikkumistavan, joka olisi helppo oppia, eikä liian raskas.

## LÄHTEET

- Ackerman, E. 2016. Dynamic Field of View Restriction Makes Virtual Reality Less Barfy. Tulostettu 15.8.2018. <https://spectrum.ieee.org/tech-talk/consumer-electronics/gaming/dynamic-field-of-view-restriction-makes-virtual-reality-less-barfy>
- Bambury, S. 2017. 10 amazing virtual museum tours. Tulostettu 9.7.2018. <https://www.virtualiteach.com/single-post/2017/08/20/10-amazing-virtual-museum-tours>
- Bashara, R. 2018. Alto 100 | A New Omnidirectional Balance Board to Move in VR. Tulostettu 22.8.2018. <https://www.vrfitnessinsider.com/alto-100-a-new-omnidirectional-balance-board-to-move-in-vr/>
- Benhamou, Y. 2016. Copyright and Museums in the Digital Age. Tulostettu 11.7.2018. [http://www.wipo.int/wipo\\_magazine/en/2016/03/article\\_0005.html](http://www.wipo.int/wipo_magazine/en/2016/03/article_0005.html)
- Boletsis, C. 2017. The New Era of Virtual Reality Locomotion: A Systematic Literature Review of Techniques and a Proposed Typology. Tulostettu 16.10.2018. <https://www.mdpi.com/2414-4088/1/4/24>
- Buckley, S. 2015. This Is How Valve's Amazing Lighthouse Tracking Technology Works. Tulostettu 18.6.2018. <https://gizmodo.com/this-is-how-valve-s-amazing-lighthouse-tracking-technol-1705356768>
- Burdea, G. 1999. Haptic Feedback for Virtual Reality. Tulostettu 15.6.2018. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.135.6358&rep=rep1&type=pdf>
- CCP. N.d. Visions of the Valkyrie. Viitattu 18.10.2018. <https://www.evevalkyrie.com/media>
- Cigainero, J. 2018. European Museums Get Adventurous With Virtual Reality. Tulostettu 15.6.2018. <https://www.nytimes.com/2018/03/12/arts/european-museums-get-adventurous-with-virtual-reality.html>
- Cyberith GmbH. 2014. Cyberith Virtualizer - Immersive Virtual Reality Gaming. Tulostettu 21.8.2018. <https://www.kickstarter.com/projects/1259519125/cyberith-virtualizer-immersive-virtual-reality-gam/>
- Cyberith GmbH. N.d. Press. Viitattu 23.10.2018. <https://www.cyberith.com/press/>
- Forsyth, S. 2017. ICAROS: Virtual Reality Fitness. Tulostettu 22.8.2018. <https://www.ippinka.com/blog/icaros-virtual-reality-fitness/>
- Hon, A. 2016. VR will break museums. Tulostettu 9.7.2018. <https://medium.com/@adrianhon/vr-will-break-museums-794bfaa78ce4>
- HTC Corporation. N.d. (A). About the VIVE controllers. Viitattu 23.10.2018. [https://www.vive.com/nz/support/vive/category\\_howto/about-the-controllers.html](https://www.vive.com/nz/support/vive/category_howto/about-the-controllers.html)

HTC Corporation. N.d. (B). VIVE Image Gallery. Viitattu 18.10.2018.

<https://www.vive.com/eu/pr/newsroom-gallery/>

Johnson, D. 2005. Introduction To And Review Of Simulator Sickness Research. Tulostettu 20.8.2018. [https://www.twentymillisecons.com/pdf/navy\\_motion\\_sickness.pdf](https://www.twentymillisecons.com/pdf/navy_motion_sickness.pdf)

Kanninen, H. 2015. Vanha muumilaakso suljetaan – Tänne muumit muuttavat. Tulostettu: 6.7.2018. <https://www.tamperelainen.fi/artikkeli/338178-vanha-muumilaakso-suljetaan-tanne-muumit-muuttavat>

Kivi, M. 2000. Muumilaakso: Tarinoista museokokoelmaksi. Espoo: Schildt Kustannus Oy.

Koskinen, A. 2017. Tekstuurien luonti digitaaliseen Muumitaloon ja muumikuvaelmiin. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

LaViola Jr., J. 2000. A Discussion of Cybersickness in Virtual Environments. Tulostettu: 6.7.2018. <http://www.eecs.ucf.edu/~jjl/pubs/cybersick.pdf>

Leap Motion. N.d. Leap Motion. Luettu 18.10.2018. <https://www.leapmotion.com/>

Madigan, J. 2012. The Psychology of Video Game Immersion. Tulostettu: 4.7.2018. <https://www.psychologytoday.com/us/blog/mind-games/201207/the-psychology-video-game-immersion>

Mahlamäki, A. 2016. Muumikuvaelmien 3D-mallinnus 3D-skannatun datan pohjalta. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Marshall, M. 2017. Get Moving: Locomotion in Virtual Reality. Tulostettu 17.10.2018. <https://medium.com/pixel-tours/get-moving-locomotion-in-virtual-reality-dbfb08ab867>

Muséum national d'Histoire naturelle. N.d. Cabinet de Réalité virtuelle (The Cabinet of Virtual reality). Viitattu 18.10.2018. <https://www.mnhn.fr/en/visit/lieux/cabinet-realite-virtuelle-cabinet-virtual-reality>

Muumimuseo. 2017. Muumimuseo 1 v. 17.6.2018. Tulostettu: 6.9.2018. <https://muumimuseo.fi/ajankohtaista/muumimuseo-1-v-17-6-2018/>

Parisi, T. 2015. Learning virtual reality: developing immersive experiences and applications for desktop, web, and mobile. Sebastopol, CA: O'Reilly Media.

PC Gamers. 2016. Eagle Flight im Test: VR-Höhenflug oder Bruchlandung? Viitattu 18.10.2018. <http://www.pcgames.de/Eagle-Flight-Spiel-56413/Tests/Review-1213518/>

Reality Technologies. N.d. The Ultimate Guide to Virtual Reality (VR) Technology. Tulostettu: 6.7.2018. <http://www.realitytechnologies.com/virtual-reality>

Rämö, M. 2011. Korvaamattomien muumitöiden vieminen vanhaan tehtaaseen rikkoisi lahjoituksen ehtoja – Lue, mitä Tove Janssonin kanssa sovittiin. 6.7.2018. <https://www.tamperelainen.fi/artikkeli/60825-korvaamattomien-muumitoiden-vieminen-vanhaan-tehtaaseen-rikkoisi-lahjoituksen-ehtoja>

Statista. 2017. Worldwide virtual reality (VR) headset unit sales by brand in 2016 and 2017 (in millions). Tulostettu 27.9.2018.

<https://www.statista.com/statistics/752110/global-vr-headset-sales-by-brand/>

Steam Corporation. N.d. (A). HTC Vive. Tulostettu 6.7.2018.

[https://store.steampowered.com/app/358040/HTC\\_Vive/](https://store.steampowered.com/app/358040/HTC_Vive/)

Steam Corporation. N.d. (B). VirZOOM Arcade. Tulostettu 22.8.2018.

[https://store.steampowered.com/app/448710/VirZOOM\\_Arcade/](https://store.steampowered.com/app/448710/VirZOOM_Arcade/)

Tambovtsev, D., Floksy, N. & Peshé, O. 2016. How to Avoid the Effect of Motion Sickness in VR. Tulostettu 14.8.2018.

<https://vrscout.com/news/avoid-motion-sickness-developing-for-vr/>

The Void. 2016. Hyper-reality: beyond virtual reality. Viitattu 23.10.2018.

<https://blog.thevoid.com/how-hyper-reality-takes-virtual-reality-to-the-next-level/>

Triangular Pixels. N.d. Unseen Diplomacy: a VR obstacle course. Viitattu 23.10.2018.

<http://www.triangularpixels.net/cms/games/unseen-diplomacy/nggallery/>

Vince, J. 2004. Introduction to Virtual Reality. London : Springer.

Virtual Reality Society. N.d. Virtual Reality Motion Tracking Technology Has All the Moves. Tulostettu 18.6.2018.

<https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-gear/motion-tracking/>

WalkOVR. N.d. WalkOVR. Tulostettu 21.8.2018. <https://www.walkovr.com/>

Zhang, S. 2015. You Can't Walk In A Straight Line – And That's Great For VR. Tulostettu 16.8.2018.

<https://www.wired.com/2015/08/cant-walk-straight-lineand-thats-great-vr/>