

Tuomas Keto

HTC Vive Tracker -seurantalaitteen käyttäminen virtuaalitodellisuuspeleissä



Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintätekniikka

Kevät 2021



KAMK • University
of Applied Sciences

Tiivistelmä

Tekijä: Keto Tuomas

Työn nimi: HTC Vive Tracker -seurantalaitteen käyttäminen virtuaalitodellisuuspeleissä

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), tieto- ja viestintätekniikka

Asiasanat: VR-teknologia, virtuaalitodellisuus, liikeseuranta.

Opinnäytetyön tilaajana toimi Kajaanin ammattikorkeakoulun yhteydessä toimiva Clever Simulation Entertainment -kehitystiimi. Clever SE toteuttaa virtuaalitodellisuuden kehitysprojekteja pääasiassa ulkopuolisille asiakkaille, mutta osittain myös Kajaanin ammattikorkeakoulun omille hankkeille. Clever SE:n virtuaalitodellisuuslaboratorio sijaitsee Kajaanin ammattikorkeakoulun tiloissa.

Työn tavoitteena oli osoittaa, mitä uusia mahdollisuuksia seurantalaitteet tuovat virtuaalitodellisuuspelien kehitykseen.

Opinnäytetyössä esiteltiin erilaisia pelejä, joissa oli hyödynnetty virtuaalitodellisuuden seurantalaitteita. Sovelluksia analysoitiin sekä selvitettiin, miten seurantalaitteita oli käytetty peleissä ja millaisia pelimekaniikoita niiden käyttö mahdollistaa.

Työssä myös suunniteltiin ja toteutettiin yksinkertainen liikunnallinen peli, jossa hyödynnettiin kahta VIVE:n seurantalaitetta pelaajan jaloissa. Pelin kehittämiseen käytettiin Unreal Engine -pelimoottoria.

Projektissa kehitettyä peliä voidaan pitää prototyyppinä, jolla on kuitenkin paljon jatkokehitysmahdollisuuksia. Mikäli peli haluttaisiin kaupalliseen käyttöön, siihen voitaisiin esimerkiksi lisätä ääniä ja myös visuaalista ilmettä voitaisiin parantaa.

Projekti osoitti, että seurantalaitteita hyödyntävillä peleillä on runsaasti kehittämispotentiaalia monipuoliseen liikkumiseen kannustamisessa.

Abstract

Author: Keto Tuomas

Title of the Publication: Using the HTC Vive Tracker in Virtual Reality Games

Degree Title: Bachelor of Engineering, Information and Communication Technology

Keywords: VR-technology, virtual reality, motion capture

This thesis was commissioned by the Clever Simulation Entertainment development team operating in connection with Kajaani University of Applied Sciences. Clever SE implements virtual reality development projects mainly for external customers, but also partly for Kajaani University of Applied Sciences' own projects. Clever SE's virtual reality laboratory is located on the premises of Kajaani University of Applied Sciences.

The aim of the work was to show what new possibilities tracking devices bring to the development of virtual reality games.

The thesis presented various games that utilized virtual reality tracking devices. The applications were analyzed and it was found out how the tracking devices had been used in the games and what kind of game mechanics their use enables.

In the work, a simple exercise game was designed and implemented that utilized two VIVE tracking devices at the player's feet. The game was developed using the Unreal Engine. The game developed in the project can be considered a prototype, which, however, has many opportunities for further development. If the game were to be used for commercial use, for example, sounds could be added to it and the visual look could also be improved.

The project showed that games utilizing tracking devices have a wealth of development potential in encouraging multifaceted movement.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Virtuaalitodellisuus	2
2.1	Yleistä virtuaalitodellisuudesta	2
2.2	Virtuaalitodellisuuden historiaa	4
2.3	HTC Vive Tracker -seurantalaitteet	6
3	Liikkeenkaappaus.....	8
4	Exergaming	10
4.1	Exergamingin käsitteestä	10
4.2	Exergamingin historiaa	10
4.3	Exergamingin hyödyistä	12
5	HTC Vive Tracker -seurantalaitteita hyödyntävien VR-sovellusten mahdollisuudet.....	15
5.1	HTC Vive Tracker -seurantalaitteita hyödyntävät VR-sovellukset.....	15
5.2	Yhteenveto sovellusten analysoinnista	22
6	HTC Vive Tracker -seurantalaitteita käyttävän liikunnallisen pelin kehittäminen	23
6.1	Pelin kuvaus.....	23
6.2	Projektin toteutus	24
7	Pohdinta	33
8	Yhteenveto	34
	Lähteet	35

Symboliluettelo

AR	Augmented Reality, lisätty todellisuus
Avatar	Hahmo, joka edustaa käyttäjää virtuaalimaailmassa esimerkiksi tietokonepelissä tai internetissä
CSE	Clever Simulation Entertainment
Exergaming	Videopelien pelaamista, jotka vaativat pelaajalta fyysistä aktiivisuutta
HMD	Head Mounted Display, virtuaalitodellisuudessa käytettävät lasit
Immersio	Viittaa pelaajan kokemukseen, jossa hän syventyy pelaamiseen ja virtuaalitodellisuuteen niin, ettei pelaaja tiedosta ulkopuolista maailmaa
Mocap	Yleisnimi liikkeenkaappauksen tekniikalle, jossa näyttelijän suoritus siirretään digitaaliselle tai graafiselle hahmolle
MR	Mixed Reality, yhdistetty todellisuus
Teleportaatio	Paikasta toiseen välittömästi siirtyminen
Tracker	Tekninen laite tai merkki, jonka avulla määritetään sijainti
Virtuaalituotanto	Tekniikka, jossa tietokone piirtää virtuaaliset ympäristöt tai esineet suoraan näytölle. Esineet ja ympäristöt kuvataan reaaliajassa, niin että mahdollinen live-materiaali voi olla mukana
VR	Virtual Reality, virtuaalitodellisuus
XR	Sateenvarjotermi käsitteille VR, AR ja MR

1 Johdanto

Yksi virtuaalitodellisuuden kiinnostavimmista ominaisuuksista on, että sen myötä voi oppia kehon hallintaa ja uusia taitoja. Liikunnallisten pelien tai hyötysovellusten kehittämiseksi on todennäköisesti jatkossa myös entistä enemmän kaupallista kysyntää.

Opinnäytetyön aihealueena on virtuaalitodellisuusteknologian hyödyntäminen peleissä. Kohteenä ovat pelit, joissa käytetään HTC Vive Tracker -seurantalaitteita. Seurantalaitteita hyödyntäviä pelejä on kehitelty vasta vähän, teknologian uutuuden takia tutkimuksia aiheesta ei ole juurikaan saatavilla. Koska lapset ja aikuiset liikkuvat yhä vähemmän, olisi tärkeää löytää uusia keinoja liikunnan lisäämiseen.

Peliä kehitettäessä tarvitaan tietoa virtuaalitodellisuudesta, exergamingista ja seurantalaitteita hyödyntävistä sovelluksista. Exergamingillä tarkoitetaan videopelien pelaamista, jotka vaativat pelaajalta fyysistä aktiivisuutta. Tietoja ja taitoja tarvitaan myös pelin tekemisessä tarvittavista työkaluista.

Työn tavoitteena on osoittaa, mitä uusia mahdollisuuksia seurantalaitteet tuovat virtuaalitodellisuuspeleiden kehitykseen. Koska seurantalaitteet monipuolistavat liikkumista pelimaailmassa, niitä hyödyntämällä voidaan kehittää uusia liikkumiseen kannustavia pelejä.

Opinnäytetyötutkimuksessa selvitetään, miten seurantalaitteita on käytetty peleissä ja millaisia pelimekaniikoita niiden käyttö mahdollistaa. Hankitun tiedon pohjalta kehitetään peli, jossa pyritään hyödyntämään HTC Vive Tracker -seurantalaitteita uudella tavalla.

Kyseisen seurantalaitteen käytöstä on olemassa erilaisia projekteja ja tutkimuksia, kuten myös liikunnallisista peleistä (exergames).

2 Virtuaalitodellisuus

Luvussa käsitellään virtuaalitodellisuuteen liittyviä käsitteitä ja historiaa sekä virtuaalitodellisuutta hyödyntäviä seurantalaitteita.

2.1 Yleistä virtuaalitodellisuudesta

Virtuaalitodellisuus (lyhennettynä VR) on vielä suhteellisen uusi teknologia, ja siitä on vaikea löytää yhtenäistä määritelmää. Käsite voi olla myös epäselvä. Woodfordin mukaan virtuaalitodellisuudella on olemassa monia määritelmiä ja termiä myös käytetään usein väärin [1]. Steinicke toteaa, että virtuaalitodellisuuden saatetaan väittää harhaanjohtavasti kuvaavan virtuaalista maailmaa (engl. VR world) ja kybermaailmaa (engl. cyberworld) [2].

Merriam-Webster sanakirja määrittelee virtuaalitodellisuuden keinotekoiseksi ympäristöksi, joka koetaan aistien (esim. näkö ja kuulo) kautta. Tietokone luo käyttäjälle aistiärsyksiä, ja käyttäjän toiminta määrittää osittain sen, mitä ympäristössä tapahtuu. Käsite voi tarkoittaa myös tekniikkaa, jota käytetään virtuaalitodellisuuden luomiseen tai käyttämiseen. [3.]

Woodford määrittelee virtuaalitodellisuuden kolmiulotteiseksi simuloiduksi ympäristöksi, joka on luotu tietokoneen välityksellä. Virtuaalitodellisuus on tyypillisesti vuorovaikutteinen, ja se saa käyttäjänsä uppoutumaan virtuaaliseen kokemukseen. [1.] Käyttäjän mielikuviutus määrittelee Shermanin ja Craigin [4] mukaan virtuaalimaailman ja sen, kuinka kyseinen virtuaalimaailma koetaan. Virtuaalimaailmassa ainoa rajoittava tekijä on käyttäjän kuvittelukyky ja taito, miten käyttäjä kommentoi kokemaansa. Virtuaalitodellisuuden ominaisuuksina voidaan pitää interaktiivisuutta, reaaliaikaisuutta ja tilallisuutta [4]. Brooks [5] mukaan virtuaalitodellisuus eroaa muista interaktiivisten virtuaaliympäristöjen muodoista näiden ominaisuuksien vuoksi.

Jerald [6] määrittelee termin 'virtual' vaikutukseksi tai olemukseksi, joka ei kuitenkaan ole todellista. Termi 'reality' on puolestaan määriteltävissä paikaksi tai ominaisuudeksi, joka on olemassa ja joka voidaan kokea. 'Virtual realitylla' tarkoitetaan hänen mukaansa keinotekoisia ympäristöä, jossa tietokone tuottaa aistiärsyksiä. Ihmisen reaktiot näihin aistiärsyksiin määrittävät lopulta sen, mitä ympäristössä tapahtuu. [6, s. 9.]

Virtuaalitodellisuudesta puhuttaessa käytetään usein termiä immersio kuvaamaan sitoutumisen tasoa, jonka käyttäjä kokee kokemuksessa. Toinen tavallinen termi käyttäjän sitoutumiselle tai immersiolle on 'läsnäolo'. Kaikki ihmiskehon aistit vaikuttavat käyttäjän immersioon virtuaalitodellisuudessa. Useimmat modernit virtuaalitodellisuuslaitteet simuloivat kuulo-, näkö- ja kosketusaistia. Myös hajuaistia on mahdollista simuloida. Immersio on keskeinen osa määritettäessä, mitä virtuaalitodellisuus on ja mikä tekee siitä tehokkaan. Immersion voi jakaa sekä henkiseen että fyysiseen immersioon. Henkinen immersio on tunne siitä, että on sitoutunut ja osana kokemuksesta. Fyysinen immersio viittaa keholliseen kokemukseen aistiärsykkeistä, jotka tuotetaan eri teknologioiden avulla. [4.]

Virtuaalitodellisuus mahdollistaa tietokoneiden kanssa vuorovaikutuksen tavalla, joka on intuitiivisempi ja immersioivampi perinteisiin oheislaitteisiin kuten näppäimistöön, hiireen ja monitoriin verrattuna. Virtuaalitodellisuuden avulla käyttäjä pääsee suoraan kokemuksen sisälle ja voi vuorovaikuttaa sen kanssa intuitiivisesti käyttämällä omaa kehoaan. Käyttäjän tunne osallistumisesta kokemukseen heijastaa käyttäjän sitoutumisen ja uppoutumisen tasoa. Virtuaalitodellisuudessa käyttäjän kehosta tulee osa virtuaalista maailmaa, jolloin käyttäjä on myös henkisesti enemmän läsnä kokemuksessa. Useimmat nykypäivän virtuaalitodellisuuslaitteistot käyttävät päähän asetettavaa HMD-laitetta (engl. Head Mounted Display eli virtuaalitodellisuudessa käytettävät lasit) ja liiketunnistusta hyödyntäviä ohjaimia, joissain tapauksissa jopa laitteistoja kuten liikealustoja ja etäohjattavia robotteja. [4, s. 6, 14, 27, 28. 7.]

On huomattava, että on olemassa myös muita teknologioita, jotka muistuttavat virtuaalitodellisuutta. Näitä teknologioita ovat lisätty todellisuus (AR) ja yhdistetty todellisuus (MR). VR, AR, ja MR monesti sekoitetaan keskenään, koska ne hyödyntävät hyvin samankaltaisia laitteistoja ja teknologioita. Niillä on kuitenkin keskenään myös keskeisiä eroavaisuuksia. Virtuaalitodellisuus hyödyntää täysin tietokoneen luomaa ympäristöä, kun taas lisätty todellisuus luo eräänlaisen virtuaalisen päällekkäisyyden reaali maailman kanssa. Lisätyn todellisuuden avulla voi nähdä ja olla vuorovaikutuksessa esimerkiksi AR-lasien tai älypuhelimien kanssa. Pohjimmiltaan lisätty todellisuus lisää elementtejä todellisen maailman päälle tai laajentaa sitä virtuaalisilla elementeillä tai ominaisuuksilla. MR on yhdistelmä virtuaalisia ja oikeita elementtejä, jossa nämä elementit ovat vuorovaikutuksessa toistensa kanssa ja luovat yhdessä uusia ympäristöjä ja visualisaatioita. Käytännössä tämä voisi näkyä, kun lisätty virtuaalinen elementti estyy näkymästä oikean maailman

esineen liikkua virtuaalisen esineen eteen. Termi XR on yläkäsite, joka tarkoittaa virtuaalisen, laajennetun ja yhdistetyn todellisuuden teknologioita. [8, 9.]

Virtuaalitodellisuudessa toiminnallisuus ja vuorovaikutuksellisuus perustuu ensi sijassa pelaajan sijainnin ja käsien seurantaan. Pelaajaa voidaan seurata kahdella eri tapaa: Pelialueen reunoille voidaan ensinnäkin sijoittaa majakat, jotka seuraavat pelissä käytettävien laitteiden sijaintia. Markkinoille on kuitenkin tullut yhä enemmän VR-lasien malleja, joissa seuranta on sisäänrakennettuna. Laseissa oleva seuranta laskee näin jatkuvasti peliohjaimien ja pelaajan sijaintia suhteessa huoneen lattiaan ja seiniin.

Laitteistojen osalta kehitystyötä on tehty etupäässä VR-lasien ja tuntoaistimuksia tuottavien laitteiden osalta. Virtuaalitodellisuuslaseissa simulaatiosta tulee stereoskooppinen kuva kahden, käyttäjän silmien tasolle sijoitetun näytön välityksellä.

Vuorovaikutus tapahtuu virtuaalitodellisuudessa erilaisten ohjainten avulla. Analogisella, kädessä pidettävällä ohjaimella vuorovaikutetaan ympäristöön ohjaimen näppäinten välityksellä. Haptisten ohjainten kuten hansikkaiden antama palaute perustuu puolestaan tuntoaistimuksiin, joita ohjaimet antavat pelaajalle.

Virtuaalitodellisuudelle kehitetään jatkuvasti uusia käyttötarkoituksia ja myös uusia laitteita. Todennäköistä onkin, että VR-teknologia on vasta kehityksensä alussa.

2.2 Virtuaalitodellisuuden historiaa

Tieteiskirjallisuudessa on usein osattu kuvitella asioita, joita kirjoja kirjoitettaessa ei vielä ollut olemassakaan. Kirjailija Stanley G. Weinbaumin 1930-luvulla ilmestyneessä tarinassa *Pygmalion's Spectacles* kuvaillaan laseja, joiden avulla käyttäjä voi kokea fiktiivisen maailman holografian, hajujen, maun ja kosketuksen välityksellä. Weinbaumin kuvaus lasien käyttämisestä muistuttaa selkeästi virtuaalitodellisuutta sellaisena, jona se nykyään ymmärretään. [10.]

Kesti kuitenkin vielä useita vuosikymmeniä, ennen kuin ensimmäisiä virtuaalilaseja voitiin testata käytännössä. Vuonna 1968 Ivan Sutherland ja hänen oppilaansa Bob Sproull loivat ensimmäiset virtuaalitodellisuuslasit, jotka oli yhdistetty tietokoneeseen. Lasit olivat raskas katosta riippuva laite, johon käyttäjä oli kiinnitettävä. Lasien visuaalinen puoli koostui alkeellisesta vektorigrafii-kasta. [10.]

Vuonna 1985 perustettu VPL Research kehitti 1980-luvulla monenlaista virtuaalitodellisuustekniikkaa. VPL Researchin perustaja Jaron Lanier teki tunnetuksi termin ”virtual reality” vuonna 1987. Jaron kehitti yhdessä Tom Zimmermannin kanssa virtuaalitodellisuusvarusteita kuten Dataglove-käsineet ja EyePhone-virtuaalitodellisuuslasit. Vuonna 1993 Sega ilmoitti kehittävänsä virtuaalitodellisuuslasit Sega Genesis -konsolille. Prototyyppilaseissa oli päänsuranta, stereoääni ja LCD-näyttö. Teknisen kehityksen vaikeuksien vuoksi laite kuitenkin jäi ikuisesti prototyyppias- teelle. [10.]

Nintendo Virtual Boy oli 3D-pelikonsoli, jonka uskottiin olevan kaikkien aikojen ensimmäinen kan- nettava konsoli, joka pystyi näyttämään aitoa 3D-grafiikkaa. Konsoli oli kuitenkin kaupalliselta kannalta katsottuna täydellinen epäonnistuminen. Tähän olivat syynä värien puute grafiikassa (pelit olivat punaisia ja mustia) sekä se, että ohjelmistotuki puuttui. Konsolin käyttö vaati myös epämukavaa asentoa. Tuotanto ja myynti loppuivatkin seuraavana vuonna julkistamisen jälkeen. [10.]

Palmer Luckey valmisti ensimmäisten virtuaalilasiensa prototyypin vuonna 2010, ja tästä parin vuoden päästä hän julkaisi Kickstarterin rahoittaman prototyypin Oculus Rift -virtuaalitodellisuus- laseista. Laseihin liittynyt rahoituskampanja keräsi lähes 2,5 miljoonaa dollaria. Tämä oli selkeä jakolinja aikaisempien kaupallisten epäonnistumisten ja modernin virtuaalitodellisuusvallanku- mouksen välillä. [10.]

Facebook osti Oculuksen vuonna 2014. Samana vuonna julkistettiin myös Google Cardboard-, PSVR- sekä Samsung Gear VR -virtuaalitodellisuuslasit. Virtuaalitodellisuuden kehittäminen olikin yhtäkkiä erittäin monen kaupallisen toimijan intresseissä. Vuonna 2016–2017 julkaistiin ensim- mäiset kuluttajille suunnatut virtuaalitodellisuuslasit, kuten HTC Vive ja Oculus Rift. Vuonna 2018 julkaistiin Oculus Quest -virtuaalitodellisuuslasit, joita voidaan käyttää ilman tietokonetta tai pu- helinta. Vuonna 2020 julkaistiin mm. Oculus Quest 2 -virtuaalitodellisuuslasit. [10.]

Lasien julkaisijoiden määrä on kasvanut nopeasti, ja koska samalla hinta on laskenut, voisi olettaa, että entistä enemmän laseja hankitaan myös tavalliseen kuluttajakäyttöön.

2.3 HTC Vive Tracker -seurantalaitteet

Valtaosa virtuaalitodellisuuden sovelluksista perustuu toiminnallisuuden osalta käsien seurantaan. HTC Vive Tracker -seurantalaitteet tuovat kuitenkin lisää mahdollisuuksia seurantaan.

HTC Vive -tuoteperheeseen kuuluvat HTC Vive Tracker -seurantalaitteet mahdollistavat realistisemman virtuaalitodellisuuskokemusten luomisen. Seurantalaite voidaan kiinnittää kiinnitysrullilla erilaisiin pintoihin. Jos seurantalaite kiinnitetään pelaajan kehoon, apuna voidaan käyttää esimerkiksi remmejä, rannekkeita, kypärää, hansikkaita tai erilaisia pikakiinnikkeitä. Seurantalaitteen voi kiinnittää melkein minne tahansa, jossa voidaan hyödyntää kolmijalka-adapterien osia, kunhan vain seurantalaitteen saa tarpeeksi tiukasti paikalleen. Seurantalaite on kuitenkin tärkeätä sijoittaa oikein niin, ettei se haittaa pelaajan liikkumista. [11, 12.]

Microsoftin Kinect käyttää liiketunnistustekniikkaa pelien hallintaan [16]. Kinect-järjestelmä pysyy hyödyntämään koko vartalon (full-body) seurantaan virtuaalitodellisuudessa. Driver4VR on apuohjelma, jonka avulla Kinect voi jäljitellä kolmen HTC Vive Tracker -seurantalaitteen toimintaa. Kinectin seurannan tarkkuus on kuitenkin aika huono verrattuna HTC Vive Tracker -seurantalaitteeseen, joten tässä opinnäytetyössä tarkastellaan vain HTC Vive Tracker -seurantalaitetta, joka näkyy kuvassa 1. [14.]



Kuva 1. HTC Vive Tracker -seurantalaite. [13]

3 Liikkeenkaappaus

Liikkeenkaappauksesta käytettävä englanninkielinen termi on motion capture, joka tunnetaan myös lyhenteellä ”mocap” [8]. Liikkeenkaappauksella tarkoitetaan ihmisten, eläinten ja esineiden liikkeiden tallentamista. Liikkeenkaappausteknologiaa voidaan hyödyntää muun muassa lääketieteessä ja puolustusvoimien parissa. Tunnetuin käyttökohte on tietokonehahmojen animointi elokuva- ja peliteollisuudessa. [12, s. 1.] HTC Vive Tracker -seurantalaitteita voi hyödyntää myös liikkeenkaappauksessa.

Liikkeenkaappauksen muodot voidaan jakaa ensisijaisesti kolmeen eri tyyppiin eli mekaaniseen, optiseen ja magneettiseen [12, s. 8]. Mekaanisessa liikkeenkaappauksessa näyttelijä kytketään järjestelmään, joka rakentuu joustavista tai kiinteistä kulmamittareista. Mittarit asetetaan näyttelijän niveltä kohtiin, joista ne lähettävät tietoa tietokoneen algoritmeille. Algoritmit laskevat saadun datan pohjalta 3D-hahmon asennon. [17.] Optisessa liikkeenkaappauksessa käytetään hyväksi kameroiden avulla hankittua tietoa. Tietoa saadaan merkkien pohjalta, jotka sijaitsevat kameran kuvakulmaan nähden kaksiulotteisissa akselissa. Kun samassa tilassa on useampia kameroita eri seinustoilla, pystytään luomaan kolmiulotteinen laskentajärjestelmä sijaintia varten. Merkintätavat voivat olla optisessa liikkeenkaappauksessa joko passiivisia tai aktiivisia. Passiivisessa merkintätavassa näyttelijän kehoon sijoitettuja pisteitä valaistetaan infrapunalla ja aktiivisessa merkintätavassa sijainti havaitaan LED-lamppujen avulla. Heijastukset tai LED-lamppujen väläykset luetaan kameralla. [17, 18.]

Optista liikkeenkaappausta on käytetty hyväksi esimerkiksi elokuvassa Taru sormusten herrasta, jossa liikkeenkaappaus mahdollistaa hyvinkin mielikuvituksellisten hahmojen luomisen. Kun näyttelijä esittää rooliaan, hänen puvustaan kaapataan sensorien liikettä ja samat liikkeet yhdistetään fiktiiviseen hahmoon. Näin saadaan luotua todentuntuista hahmoja, joita olisi miltei mahdotonta toteuttaa maskeeraamalla tai erikoistehosteilla. Haasteita koituu kuitenkin, mikäli hahmon kasvot poikkeavat huomattavasti ihmisen kasvoista (esim. Klonkku kuvassa 2) tai hahmo on isokokoinen (esim. dinosaur). Koska pelit ovat kehittyneet koko ajan lähemmäksi aidon tuntuista maailmaa, niissä kuitenkin käytetään enenevässä määrin hyväksi liikkeenkaappausta realististen animaatioiden tuottamiseen. [8, 9.]



Kuva 2. Andy Serkis näyttelemässä Klonkkua mocap-puvussa. [9]

Magneettisessa tekniikassa hyödynnetään sensoreita, jotka ottavat vastaan lähettimen aikaansaaman magneettikentän voimakkuutta [17]. Näiden lisäksi on olemassa myös ultraääninen sekä inertial-systeemi, joita kuitenkin käytetään viihdeteollisuudessa vain vähän [12, s. 8]. Akustinen tekniikka perustuu ultraäänen hyväksikäyttöön [17]. Kaikilla tekniikoilla on kuitenkin omat puutensa, jotka on tiedostettava tekniikoita käytettäessä.

Batchelor toteaa, että liikkeenkaappaus on kehittynyt huimaa vauhtia aina 1980-luvulta alkaen. Se on kehittynyt muun teknologian myötä ja vakiintunut standardiksi aloilla, jotka hyödyntävät animaatioita. Liikedataa nauhoittamalla saadaan aikaan todellista vastaavaa animaatiota huomattavasti nopeammin kuin animoimalla käsin 3D-hahmoja aikajanelle. [8.] Kitakawa [10] kuitenkin muistuttaa, että tallennetut liikkeet eivät ole suoraan käyttökelpoisia ja että ne vaativat paljon työstämistä sekä ennakkoon että jälkikäteen. Liikkeenkaappaus ei siis automaattisesti ole muuta animointia nopeampaa ja halvempaa. Liikkeenkaappaus voi kuitenkin olla aikaa säästävää ja toimiva tekniikka, jos käyttäjällä on riittävästi osaamista [12, s. 1]. Koska liikkeenkaappauksella saatava animaatio on hyvin realistista, se ei kuitenkaan sovellu kaikkiin projekteihin kuten esimerkiksi sarjakuvamaisten hahmojen luomiseen [12, s. 8].

4 Exergaming

Luvussa esitellään exergamingin käsite ja historiaa sekä exergamingiin liittyviä sovelluksia ja niiden hyötyjä.

4.1 Exergamingin käsitteestä

Termi 'exergaming' tulee sanojen 'exercise' ja 'gaming' yhdistelmästä, eli kyse on treenin ja pelaamisen yhdistämisestä. Myös muita termejä kuten 'activity-promoting video games', 'active video games' tai 'physical gaming' saatetaan käyttää. [16, s. 2.] Termien käytössä saattaa olla joidakin epäjohtonmukaisuuksia, mutta yleisesti ottaen exergaming tarkoittaa sellaisten videopelien pelaamista, jotka vaativat pelaajalta fyysistä aktiivisuutta [16, s. 1–2].

4.2 Exergamingin historiaa

Erilaisia liikuntapelejä on ollut käytössä jo vuosikymmeniä sitten, vaikkakin niiden suosio on kasvanut tekniikan kehittymisen myötä. Ensimmäisissä konsolipeleissä peliä ohjattiin joystickillä tai muulla vastaavalla laitteella. Vaikka pelaajan fyysisellä toiminnalla oli yhteyttä peliin ja suoritukseen, tämä ei kuitenkaan mahdollistanut samanlaisia fyysisiä suorituksia kuin nykyään käytössä olevat pelit. [15.] Exergaming on kehittynyt paljon 1980-luvun lopusta lähtien. Suosio on edelleen kasvanut 2010-luvun jälkipuoliskolla, mikä johtuu paremmasta videopeligrafiikasta ja uusista mobiili- ja tablet-sovelluksissa käyttöön otetuista peleistä. [16.]

Vuonna 1987 Nintendon julkaisemassa Foot Craz -pelissä erillinen pelimatto kannusti liikkumaan aikaisempaa enemmän. Pelimattoa käytettiin painamalla jaloilla erivärisiä, kosketukseen reagoivia nappeja. Pian tämän jälkeen julkaistuun Power Pad -pelimattoon kehitettiin useita pelejä 1980- ja 1990-luvun vaihteessa. Kosketuksen tunnistavassa Power Padissa hahmo saatiin liikkumaan, kun nappeja painettiin jalalla. Track & Field -pelissä pelaaja kilpaili kuudessa eri olympialajissa. Muita Power Padille kehitettyjä pelejä ovat muun muassa World Track Meet, World Class

rack ja Stadium Events. Peleissä juostaan, kävellään, hypitään ja kyykistytään. [15.] Myös HighCycle- ja Virtual Racquetball -peleissä oli mukana exergaming-elementtejä. Esimerkiksi HighCyclessa voi pyöräillä virtuaalisen maiseman läpi, vaikka polkupyörä pysyykin paikallaan. [16.]

1990-luvulla kaupallisille markkinoille tulivat VR Bike- ja VR Climber -sovellukset, joissa oli käytössä nojapyörä ja askelluslaite. Sovelluksissa oli kuitenkin erilaisia ongelmia, kuten viallinen elektroniikka, korkea ostohinta ja käyttövaikeudet. [16.]

Konamin vuonna 1998 julkaisema liikunnallinen peli The Dance Dance Revolution (DDR) oli iso myyntimenestys. Erillisen sensorin päällä pelattavan pelin tarkoituksena on painaa jalalla oikeaa nuolta sensorissa musiikin mukaan. Pelaaja näkee ruudulta, milloin nuolta tulisi painaa ja missä rytmissä. DDR-peli on julkaistu myös konsoleihin, kuten Microsoft Xbox, Sony Playstation, Nintendo GameCube, Nintendo 64 ja Sega Dreamcast. Vuonna 2004 lanseeratulla GetUpMove.com-sivustolla mainostettiin DDR-peliä hyvänä keinona painonpudotukseen, ja sivustosta tulikin menestys. Peli sai tätä kautta runsaasti medianäkyvyyttä, mikä lisäsi ihmisten innokkuutta hankkia Playstation-konsoleita. Käsite exergaming tuli näihin aikoihin yleisempään käyttöön. [15.]

2000-luvulle tultaessa monet aikaisemmista exergamingiin liittyneistä ongelmista saatiin ratkaistua ja markkinoilla tuli pelejä, kuten Cat-Eye Game Bike (Cat Eye Fitness), Exertris Interactive Gaming Bike (Exertris), EyeToy: Kinetic (Nike Motionworks), Gamercize (Gamercize) ja Wii Fit (Nintendo). [16.]

Sonyn vuonna 2003 Sony julkaisema EyeToy on digitaalinen kamera, joka on suunniteltu Playstation 2 -konsolille. Pelaaja voi pelata kameran avulla sovellukseen suunniteltuja pelejä interaktiivisesti kehoaan liikuttamalla. Kamera tunnistaa vartalon, käsien, jalkojen ja pään liikkeen. [17, s. 186–187.]

RresponDESIGNin vuonna 2004 suunnittelemat ohjelmat kehitettiin parantamaan ensi sijassa pelaajan kuntoa ja terveyttä. Pelejä julkaistiin Yourself!Fitnessin XBOX:lle, Playstation 2:lle ja PC:lle. Sovelluksissa ei ole kyse varsinaisesti peleistä, mutta ne sisältävät runsaasti pelillisiä elementtejä kuten uusia tasoja, muuttuvia ympäristöjä ja musiikkia. Pelaaja saa ohjelmasta yksilöllistä kuntoiluopastusta, ja virtuaalinen personal trainer valmentaa pelaajaa harjoittelun ajan. Yourself!Fitness- pelissä on harjoituksia muun muassa painonpudotukseen, joogaan, pilatekseen sekä voima- ja liikkuvuusharjoitteluun. [17, s. 188.]

Uusi, vuonna 2006 Nintendon julkaisema konsoli oli nimeltään Wii. Konsolin liikkeeseen perustuvat langattomat ohjaimet, mahdollisuus wifin käyttöön sekä muut ominaisuudet tekivät siitä nopeasti hyvin suosittu. Nintendo ja The American Heart Association ryhtyivät tekemään yhteistyötä, jonka tavoitteena oli terveellisen elämäntavan edistäminen fyysistä aktiivisuutta kehittävien pelin avulla. Nintendon vuonna 2012 julkaisema WiiU-konsoli oli uudistettu versio Wii-konsolista. [18.]

Vuonna 2008 julkaistun Wii Fitin kehitti Shigeru Miyamoto, joka oli kehittänyt muitakin suosittuja Nintendo-pelejä, kuten esimerkiksi Marion ja Donkey Kongin. Wii Fitistä tuli niin tehokas kuntoutuksen kannalta, että monet sairaalat sisällyttivät sen kuntoutusohjelmiinsa. [16.]

Mobiilipohjaiset pelit ovat sittemmin tulleet konsolipohjaisten pelien rinnalle. Suosituimpiin mobiilipohjaisiin peleihin kuuluu Pokémon Go -peli, jonka kautta liikunnalliset mobiilipelit tulivat myös suuren yleisön tietoisuuteen. Muita tunnetuksi tulleita pelejä ovat Ingress ja Zombies Run. Mobiilipelien kasvava suosio on vähentänyt kotona pelattavien konsolipohjaisten pelien suosiota. Konsolipohjaisia pelejä on kuitenkin enenevässä määrin otettu käyttöön erilaisessa kuntoutus- ja terapiakäytössä [19, s. 6.]

4.3 Exergamingin hyödyistä

Exergaming on uusi tutkimusala, joka on kuitenkin saanut viime vuosina runsaasti huomiota. Tämä johtuu etupäässä siitä, että varsinkin nuorten keskuudessa fyysinen kunto on aikaisempaa heikompä. Toisaalta on myös olemassa uutta teknologiaa, jota voidaan käyttää hyväksi liikunnallisuuden lisäämisessä [16]. Esimerkiksi vuosina 2017 ja 2018 keskivertoamerikkalainen aikuinen käytti yli 11 tuntia päivässä median kuluttamiseen. Tähän tosin laskettiin mukaan myös passiivinen median kuluttaminen, kuten radion kuuntelu tai muiden medioiden vaikutuspiirissä oleminen. [16.]

Tavallisesti videopelejä pelataan istualtaan, ellei oteta huomioon liikkumiseen kannustavia videopelejä. On tärkeätä huomata, ettei exergamingin idea ole syrjäyttää tavanomaista liikkumista, vaan tuoda uusia tapoja liikunnan harrastamiseen. Exergaming ei liikuntamuotona ole välttämättä yhtä tehokasta kuin tavanomainen liikunta, mutta se voi houkutella kuitenkin liikkumaan ja olla tavallista liikuntaa hauskeempaa [15].

Videopeleillä on suuria mahdollisuuksia parantaa harjoitusmotivaatiota. Tutkimusten mukaan exergaming voi lisätä harjoitteluun energiaa ja tuottaa myös positiivisia sosiaalisia vaikutuksia [20, s. 4–9]. Liikuntatreeni ei välttämättä aina ole hauskaa, mutta videopelit ovat – exergaming voi siis lisätä motivaatiota harjoitteluun ja lisäksi tehostaa sitä. Peli saattaa olla niin immerssiivinen, että pelaaja unohtaa kokonaan treenaavansa. [18, 19.] Exergaming voi myös olla sosiaalinen kokemus, sillä pelaaja voi pelata muiden kanssa samassa tilassa tai osallistua moninpeliin internetissä tai kommunikoida muiden pelaajien kanssa. Muita pelaajia vastaan voi myös kilpailla, mikä voi lisätä motivaatiota harjoitteluun. Joissakin virtuaalitodellisuuspeleissä voi osallistua erilaisiin exergaming-aktiviteetteihin, joiden myötä voi saada sosiaalisia kontakteja. [18, 20.]

Exergamingissä käytettäviä laitteita ovat mm. Nintendo Wii, Microsoft Kinect ja virtuaalitodellisuusjärjestelmistä esim. Oculus Quest. Erilaiset järjestelmät tarjoavat erilaisia interaktiivisuuden tasoja. Jotkut sallivat pelaajan käyttää koko kehoa, jotkut taas pelkästään käsiä tai jalkoja. [21–23.] Jopa perinteisiä kuntosalin välineistöjä kuten kuntopyöriä on yhdistetty pelaamiseen, jotta harjoittelusta on saatu kiinnostavampaa [25]. Klassinen esimerkki exergamesta on tanssipeli Dance Dance Revolution (DDR), jossa on tavoitteena astua paineherkille levyille oikeaan aikaan näytöltä nähtävän ohjeistuksen mukaisesti. [22.]

Muita exergame-esimerkkejä ovat Kinect-järjestelmää käyttävä Xbox Fitness, Nintendon Wii Fit ja BOXVR virtuaalitodellisuuslaitteille. [26] Kyseiset pelit on suunniteltu erityisesti exergaming-tarpeisiin, mutta monet muutkin pelit vaativat pelaajalta aktiivisuutta, kuten Beat Saber tai Knockout League VR:ssä [27]. Näissä erilaisissa peleissä pelaaja voi tanssia, hyppiä tai liikuttaa käsiään samalla kun pelaaja pyrkii jonkin tavoitteen saavuttamiseen tai haasteen voittamiseen [25].

Samalla kun VR-teknologia on viime vuosina kehittynyt, myös exergaming on tullut entistä tärkeämmäksi. Kaikki exergaming ei käytä virtuaalitodellisuutta, mutta virtuaalitodellisuus sopii hyvin exergamingin tarkoituksiin. Koska käyttäjä voi virtuaalitodellisuudessa itse vaikuttaa virtuaaliseen kokemukseen käyttämällä kehoaan, exergaming voi hyödyntää tätä ominaisuutta saadakseen pelaajat liikkumaan hausalla tavalla. Virtuaalitodellisuus tuottaa uuden tavan pelata immerssiivellä ja mukaansatempaavalla tavalla. [27.]

Virtuaalitodellisuudessa on laaja exergame-valikoima eri tasoilla ja eri intensiteeteillä. Harrastaa voi esimerkiksi pöytätenniksen pelaamista, nyrkkeilyä tai jousipyssyllä ammuntaa. Suosituimmat

virtuaalitodellisuuspelit tarjoavat vähintään jonkintasoista fyysistä aktiivisuutta ja joissakin peleissä energiaa voi kulua yhtä paljon kuin vaikkapa tenniksen pelaamisessa. [28.]

Granqvist ym. (2018) toteuttivat kontrolloidun kokeen, jossa liioittelun määrää manipuloitiin taistelulajiin liittyvän potkutehtävän yhteydessä. Liioittelulla tarkoitetaan tässä yhteydessä avatarin jalan nousemista korkeammalle kuin oikeassa elämässä. Avatarilla tarkoitetaan hahmoa, joka edustaa käyttäjää virtuaalimaailmassa esimerkiksi tietokonepelissä tai internetissä. Koska kokeessa testattiin lisäksi kolmannen persoonan näkymää virtuaalinäytöllä, tuloksia voidaan soveltaa myös esimerkiksi television edessä pelattuihin exergameihin jonkin kehonseurantatekniikan avulla. Tulokset osoittavat, että liioittelulla on monia etuja: osaamisen koettiin lisääntyneen ja havaitut liikkeet vaikuttivat luonnollisemmilta. Osallistujien mukaan liioitellut liikkeet tuntuivat heistä luonnollisilta, voimaannuttavilta ja hauskoilta. Käyttäjät kuitenkin pitivät parempana sitä, että liioittelu on vain kohtuullisella tasolla eikä se saanut olla liiallista. Granqvist ym. uskovat, että lähestymistapa voisi olla uusi työkalu kehokeskeiseen vuorovaikutukseen ja exergame-suunnitteluun. He kuitenkin toteavat, että tarvitaan vielä tutkimusta siitä, miten liiallisuus voidaan poistaa liikkeistä, joissa se ei näytä tai tunnu luonnolliselta. [29.]

Taiji on perinteinen kiinalainen harjoitusmuoto, jolla on havaittu olevan yhteyttä sekä fyysiseen että psyykkiseen hyvinvointiin. Lajia on yleensä opiskeltu läheisessä vuorovaikutuksessa ohjaajan kanssa, mikä rajoittaa kuitenkin opiskelun tiettyyn aikaan ja paikkaan. Lajin opiskeluun onkin kehitetty oma VR-sovelluksensa, jossa on hyödynnetty liikeseurantaan perustuvaa teknologiaa. Opiskelija voi nähdä virtuaalivalmentajan liikkeet joka suunnalta, ja hän voi myös liikuttaa omaa avatar-hahmoaan. Harjoittelu voidaan toteuttaa samalla tavalla kuin todellisessa ympäristössä ja opiskelija voi samalla arvioida omaa oppimistaan avatarin välityksellä. Sovelluksessa läpikuultava ohjaaja asettuu opiskelijan avatarin kehoon, jossa niveltien kohdat on korostettu punaisella ja vihreällä. Tämä parantaa peliin uppoutumista ja sen tuottamia oppimisvaikutuksia. [30.]

Istualtaan virtuaalitodellisuudessa pelattavat koko kehon liikkeisiin perustuvat pelit voivat olla arvokas täydennys seisaaltaan pelattaville exergame-peleille. Istumapelit voivat johtaa suurempaan rasitukseen, ja ne ovat pelaajalle palkitsevampia. Ne myös soveltuvat paremmin pieniin tiloihin seisaaltaan pelattaviin exergame-peleihin verrattuna. Istumapelien liikkeet on kuitenkin suunniteltava huolellisesti pahoinvoinnin minimoimiseksi, ja käyttäjille olisi annettava istumapeleissä enemmän aikaa liikkeiden suorittamiseen seisaaltaan pelattaviin exergame-peleihin verrattuna. [32.]

5 HTC Vive Tracker -seurantalaitteita hyödyntävien VR-sovellusten mahdollisuudet

Luvussa esitellään erilaisia HTC Vive Tracker -seurantalaitteita hyödyntäviä sovelluksia sekä analysoidaan, mitä mahdollisuuksia seurantalaitteiden käytöllä voi olla pelien kehittelyn kannalta.

5.1 HTC Vive Tracker -seurantalaitteita hyödyntävät VR-sovellukset

Skeleton Conductor XR Art -teoksen on luonut työryhmä, jossa ovat mukana koreografi Hanna Pajala-Assefa, interaktiivinen äänisuunnittelija Janne Storm sekä interaktiokoodin ja visuaalisten efektien suunnittelija Daniel Leggat. Kuvassa 3 näkyvä liikettä, vuorovaikutteisuutta ja moniaistisuutta yhdistävä virtuaalikokemus on mediataidetta, jonka VR-teknologia mahdollistaa. [33.]



Kuva 3. Kuva Skeleton Conductor XR Art -teoksesta. [33]

Tekijät toteavat hyödyntäneensä teoksen ja kokemuksen muotoilussa kehon metaforiin ja musiikin kokemiseen perustuvia lainalaisuuksia. Kokemuksen vuorovaikutteisuuden ja kehollisen dramaturgian taustalla heillä on konseptuaalinen metaforateoria, joka sisältää ajatuksen maailman hahmottumisesta kehollisen toimijuuden ja kehollisten metaforien kautta.

Skeleton Conductor XR Art -teos tarjoaa inklusiivisen ja yksilöllisen VR-taidekokemuksen, joka mahdollistaa kinesteettisen säveltämisen ja kokijan itsensä kuuntelemisen. Liikkeen, kuvan ja äänen synteesi luo virtuaalisen käyttöliittymän ja virtuaalinen ympäristö vie kokijan kehollisen tutkimisen, oppimisen ja leikin ääreen.

Teoksessa kokija voi itse vaikuttaa kokemukseensa ja luoda sen. Kehollinen toiminta tuottaa ja muokkaa kokemuksen musiikillista ja visuaalista maailmaa, ja kokija myös tulkitsee itse tarinaansa, josta hän voi tehdä erilaisia tulkintoja. Tekijät kuvailevat teosta leikkisäksi, kauniiksi ja luovaa vapautta antavaksi. He kiteyttävät teoksen ydinsanomaksi yksilön vastuullisuuden toimijana sekä kuulluksi ja nähdyksi tulemisen merkityksellisyyden. [33.]

Climbey on kiipeilypeli, joka hyödyntää ArmSwinger-liikkumisjärjestelmää. Pelissä on myös moninpeli, mutta siinä ei ole avatareja pelaajille. Climbey-hahmoja edustavat leijuvat päät, torsot ja kädet. Climbeyn kehittäjä lisäsi peliin seurantalaitteelle tuen, joka ei kuitenkaan tue koko kehon avatarien käyttöä. Climbeyn seurantalaturi yksinkertaisesti lisää lattian korkeuden tarkkuutta. Mikäli pelaajalla on kaksi seurantalaitetta, ne voi kiinnittää jalkoihin ja kalibroida pelin, jolloin seurantalaitteet voivat arvioida lattian korkeuden. Peli tukee yhtä seurantalaitetta, mutta siinä ei ole lantion korkeuden kalibrointijärjestelmää. Mikäli jaloissa ei ole seurantalaitetta, lattiaa ei kannata kalibroida. Peli käyttää seurantalaitteen sijaintia suhteessa virtuaalitodellisuustiloihin automaattisesti arvioidakseen lattian sijainnin. Pelissä tarvitaan yksi tai kaksi seurantalaitetta lantion tai jalkojen seurantaan. [34.]

Tornuffalo-peliin sisältyy harvinainen Tornuffalo-myrsky. Siitä selviytyäkseen pelaajan on oltava nopea jaloistaan tai käsistään väistääkseen rakennusjätteitä, paloposteja, ajoneuvoja tai puhveleita, jotka lentävät pelaajaa kohti. Pelaaja voi myös potkia esineitä pois tieltään. RealityRig on julkaissut Tornuffalolle ilmaisen päivityksen, joka mahdollistaa koko kehon toiminnallisuuden: pelaaja voi käyttää koko kehoaan vastaan tulevien kohteiden väistelemisessä, kun jaloissa olevat

seurantalaitteet antavat puolestaan mahdollisuuden potkia matalalta lentävät roskat, joita ei ole aikaa väistää.

RealityRigin mukaan koko kehon toiminnallisuus saavutetaan kahdella seurantalaitteella, mutta optimaalinen toiminnallisuus saavutetaan kolmella seurantalaitteella. Peli vaatii kaksi tai kolme seurantalaitetta, joilla voidaan seurata jalkoja tai koko kehoa. [34.]

Final Soccer VR tunnettiin aiemmin nimellä Final Goalie VR. Peliin lisättiin kuitenkin mahdollisuus jalkapallojen potkimiseen sen sijaan, että niitä pelkästään yritettäisiin torjua, joten kehittäjä muutti pelin nimeä. Final Soccer VR:ssä on vankka tuki kehon seurannalle: kolmen seurantalaitteen kokoonpano koko kehon seurantaan, kaksi seurantalaitetta jalkaseurantaan ja yksi seurantalaite jalalla potkimiseen. Potkimismodeja voi pelata myös ilman seurantalaitteita, jolloin ohjain kiinnitetään jalkaan. [34.]

Goalie VR:ssä pelaaja on jääkiekossa maalivahtina. Pelaajan tulee tehdä parhaansa, jotta kiekko ei pääse maaliin 5v1-kilpailussa. Goalie VR tukee koko kehon seurantaan, eli pelaaja voi käyttää koko kehoaan kiekon pysäyttämiseen. Jotta asennosta tulisi samanlainen kuin todellisella maalivahdilla, yksi seurantalaite kannattaa kiinnittää lantioon. Kaksi muuta seurantalaitetta kiinnitetään jalkoihin, jotta säärisuojien liikuttaminen on mahdollista. Pelissä tarvitaan kolme seurantalaitea koko kehon seurantaan. [34.]

Holodance on virtuaalitodellisuusrytmiin perustuva peli. Peli sisältää yli 12 000 kappaleen valikoidun, ja jokainen kappale on kalibroitu tarkan nuottien synkronoinnin takaamiseksi. Holodance tukee koko kehon seurantaan kolmella seurantalaitteella tai jalkojen seurantaan kahdella seurantalaiteella. Jalkaseurantaan hyödynnetään kohti tulevien nuottien lyömisessä tai niihin osumisessa. Holodance tukee seurantalaitteita myös speктаattorikameralla (engl. spectator camera). Speктаattorikameran voi kiinnittää seurantalaitteeseen, jolloin pelikameraa voi siirtää haluamallaan tavalla. Speктаattorikamera on kuin yhdistetyn todellisuuden kamera ilman viherkangasta, kaappauskorttia ja videokameraa. Pelissä vaaditaan kahta tai kolmea seurantalaitetta kehon seurantaan ja yhtä seurantalaitetta speктаattorikameraa varten. [34.]

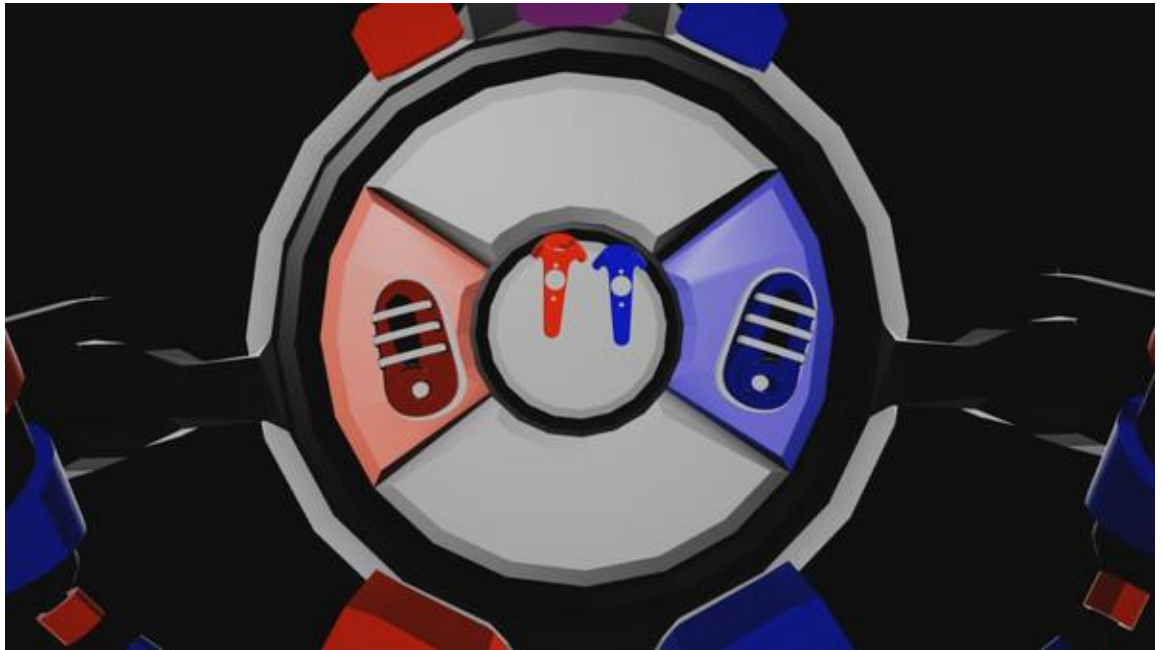
VR Monster Awakensissä pelaaja on Godzillan kaltainen hirviö, joka aiheuttaa tuhoja ja tuhoaa kaiken näkyvässä olevan. Pelaaja voi käyttää käsiään murskaamaan rakennuksia, tarttumaan ihmisiin ja heittämään ajoneuvoja kaupungin yli. Jos pelaajalla on kaksi seurantalaitetta, hän voi

käyttää jalkojaan tallatakseen sotilaita, jotka yrittävät tappaa hänet. Peliin tarvitaan kaksi seurantalaitetta jalkojen seurantaan. [34.]

VRChat on monen käyttäjän virtuaalitodellisuuden sosiaalinen alusta, jossa on paljon erilaisia aktiviteetteja. VRChatissa on pelejä, joita voi pelata muiden kanssa sekä lukemattomia tutkittavia virtuaalimaailmoja. VRChat tarjoaa koko kehon avatareja, joissa on animoituja ominaisuuksia kuten äänisynkronoidut huulet tai vilkkuvat silmät. VRChatissa on tuki koko kehon seurantaan kolmella seurantalaitteella, mikä mahdollistaa edistyneet liikkeet kuten esimerkiksi jalkojen ristiin laittamisen, makaamisen tai tanssimisen. VRChatissa tarvitaan yksi tai kolme seurantalaitetta joko lantion tai koko kehon seurantaan (VRChat ei tue pelkästään jalkojen seurantaan). [34.]

Fit It on virtuaalitodellisuuspeli, jossa pelaajan on mahdollista pelata kohti liikkuvien, seinissä olevien reikien läpi. Pelaajan on liikuttava pelialueella ja luotava kehollaan mahdollisimman tarkkoja muotoja seinässä olevaan reikään nähden ansaitakseen pisteitä. Mitä tarkemman muodon pelaaja saa aikaan, sitä enemmän hän saa pisteitä pelissä. Peliin tarvitaan kaksi tai kolme seurantalaitetta koko kehon seurantaan. [35.]

Redfoot Bluefoot Dancing on VR-tanssipeli (kuva 4), joka hyödyntää jaloissa pidettäviä seurantalaitteita. Pelin kehittäjä on inspiroinut Dance Dance Revolution ja Audioshield. Peli vaatii kaksi seurantalaitetta jalkojen seurantaan. [36.]



Kuva 4. Kuva Redfoot Bluefoot Dancing -tanssipelistä. [37]

Kuvassa 5 on nähtävillä erilaisia HTC Vive Tracker -seurantalaitteiden oheislaitteita. SelfieTennis-peli tukee tennismailan mallista oheislaitetta, johon voi kiinnittää seurantalaitteen. Arizona Sunshine -ammuntapeli tukee Hyper Blaster -nimistä pistoolin mallista oheislaitetta. [38.] PITCH-HIT ARCADE -nimistä peliä voi puolestaan pelata kiinnittämällä seurantalaitteen pesäpallomailan päähän tai käyttämällä tennismailan muotoista oheislaitetta.



Kuva 5. HTC Vive Tracker -seurantalaitteiden oheislaitteita. [35]

HTC Vive Tracker -seurantalaitetta voi hyödyntää myös virtuaalituotannossa (engl. Virtual Production). Kuvassa 6 nähtävä seurantalaite toimii tällöin eräänlaisena virtuaalisena kamerana, jolloin ei tarvitse käyttää kalliita ammattilaisten käyttämiä kameroita. [44.]



Kuva 6. HTC Vive Tracer -seurantalaite yhdistettynä virtuaaliseen kameraan. [44]

5.2 Yhteenveto sovellusten analysoinnista

Valtaosassa seurantalaitteita hyödyntävissä peleissä pelaajan ei tarvitse liikkua pelialueella, vaan liike tapahtuu paikallaan. Toisaalta peli, joka ei vaadi paljon tilaa, mahdollistaa laajemman käyttäjäkunnan, koska ihmisillä on vasta vain vähän seurantalaitteita käytössä. Mikäli seurantalaitteiden käyttö yleistyy, tilaa voisi hyödyntää nykyistä laajemmin.

Seurantalaitteilla ei kuitenkaan aina tavoitella toiminnallisuuden lisäämistä. Kun seurantalaitteita käytetään virtuaalitodellisuusympäristössä, mukana olevat voivat nähdä toistensa kehon liikkeitä monipuolisemmin. Esimerkiksi VRChatissa on järjestetty tanssikilpailuja, jotka eivät olisi mahdollisia ilman seurantalaitteita.

Seurantalaitteita voitaisiin käyttää myös nykyistä enemmän esimerkiksi kehoillisen improvisoinnin mahdollistamiseen, kuten Skeleton conductor -teoksessa on tehty.

Seurantalaitteita käyttävien sovellusten kehittäminen on tarpeellista, koska jatkossa on tulossa markkinoille aikaisempaa pienempiä ja edullisempia seurantalaitteita, mikä lisää sovellustenkin tarvetta. Myös muita teknisiä ratkaisuja saattaa löytyä, jotka mahdollistavat aikaisempaa laajemmin liikkeenseurantaan perustuvien sovellusten kehittämisen.

6 HTC Vive Tracker -seurantalaitteita käyttävän liikunnallisen pelin kehittäminen

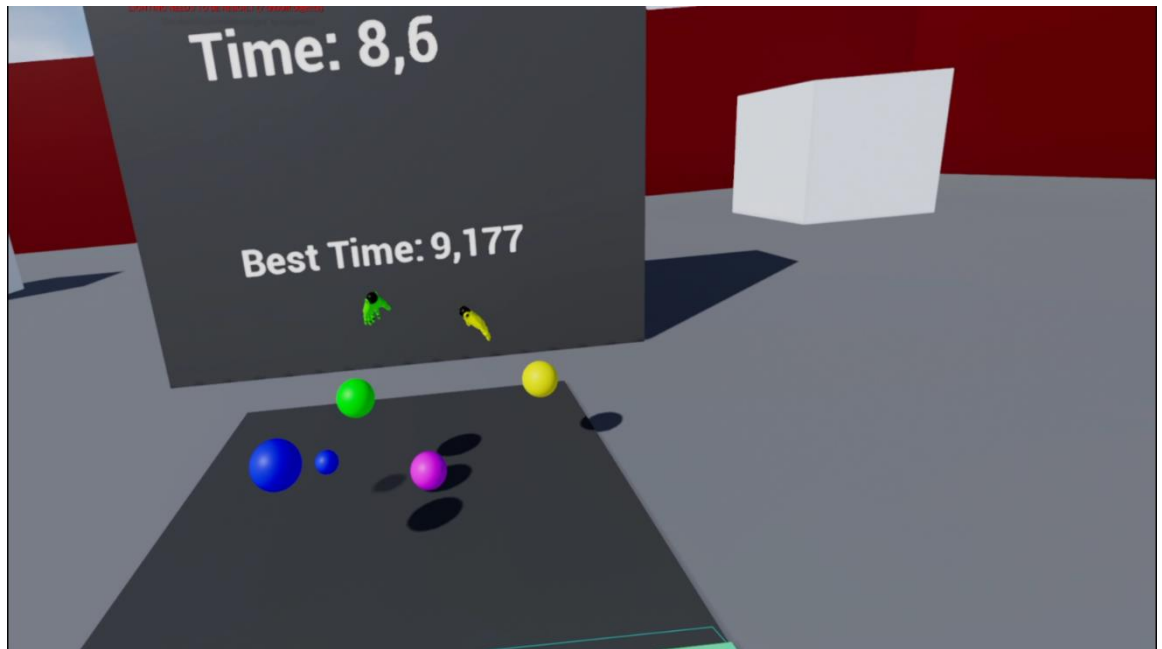
Seurantalaitteita käytetään peleissä vasta vähän. Ne ovat vielä kalliita eikä seurantalaitteita hyödyntäviä pelejä ole vielä paljoakaan saatavilla. Seurantalaitteita hyödyntävillä peleillä on kuitenkin kehittämispotentiaalia, koska ne mahdollistavat monipuolisempaa liikkumista.

Työn tavoitteena oli kehittää seurantalaitteiden mahdollisuuksia hyödyntävä peli, joka parantaa pelaajan tasapainoa ja liikkuvuutta.

6.1 Pelin kuvaus

Clever Simulation Entertainmentille kehitetty peli muistuttaa toimintamekaniikaltaan vähän Twister-peliä, jossa kädet ja jalat pitää asettaa oikeisiin kohtiin oikean värisiin palloihin. Kuvassa 7 näkyy kuvakaappaus pelistä. Pelissä seurantalaitteita hyödynnetään pelaajan jaloissa. Käsien ja jalkojen sijainnit pelissä on siirretty leijumaan pelaajan eteen tekemällä pallojen havaitsemisesta suhteessa pelaajan käsiin ja jalkoihin helpompaa. Täten pelaaja voi nähdä kaikki pallot yhtä aikaa näkökentässään. Kun pelaaja asettaa jonkin ohjainlaitteista kohdalleen oikean väriseen palloon, vaihtuu pallon väri violetiksi merkiksi siitä, että ohjainlaite on oikeassa kohdassa. Kun pelaaja on saanut asetettua kaikki raajansa oikeaan kohtaan vastaavan värisiin palloihin, vaihtuu pelissä uusi setti palloja vanhojen tilalle. Pelissä on ajastin, joka lähtee päälle, kun pelaaja on suorittanut ensimmäisen setin. Ideana on käydä kaikki setit mahdollisimman nopeasti läpi. Kun pelaaja on läpäissyt pelin, aika pysähtyy ja taululla näkyy myös, jos pelaaja on parantanut parasta aikaansa.

Pelissä joudutaan seisomaan yhdellä jalalla, mikä aktivoi muun muassa keskivartalon lihaksien hallintaa. Jalkaa on myös vaihdettava välillä. Jotta pelin saisi läpi, on vaihdettava asentoa aina uuden setin ilmaantuessa. Pelin vaatimat liikkeet parantavat kehon tasapainoa, ja sillä on myönteisiä vaikutuksia myös raajojen liikkuvuuteen.

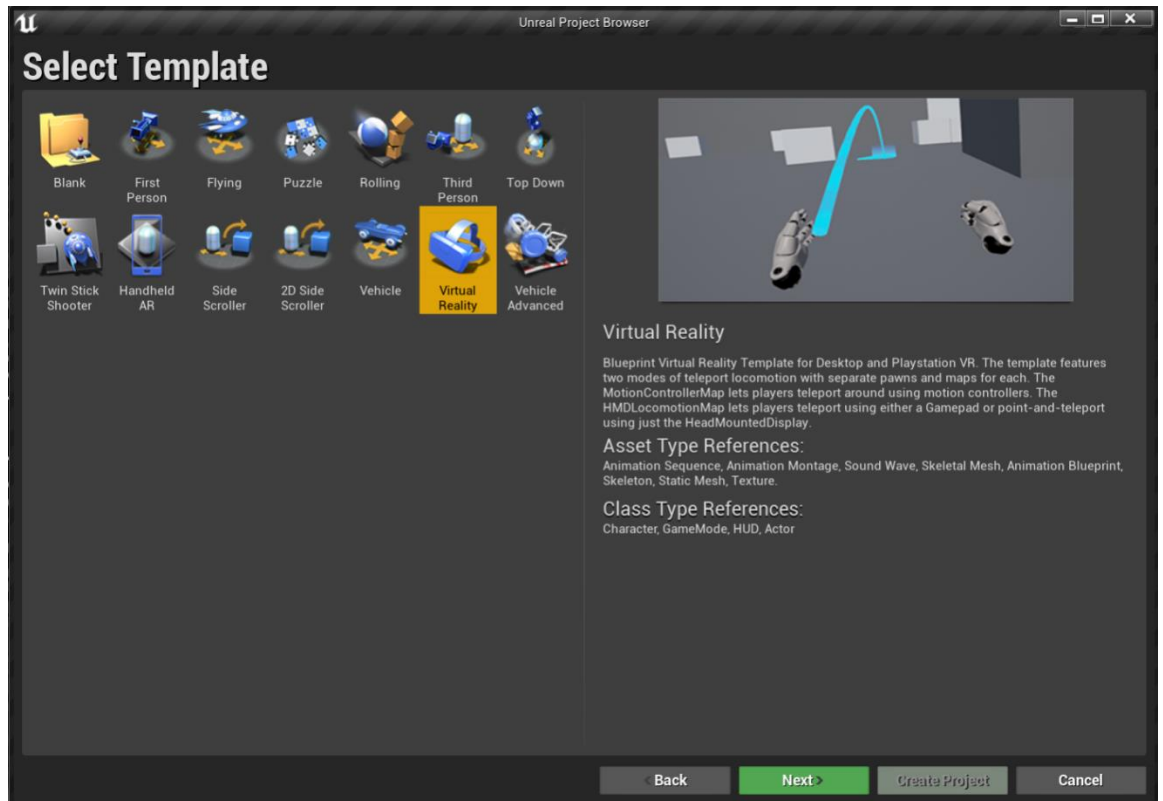


Kuva 7. Kuva pelistä.

6.2 Projektin toteutus

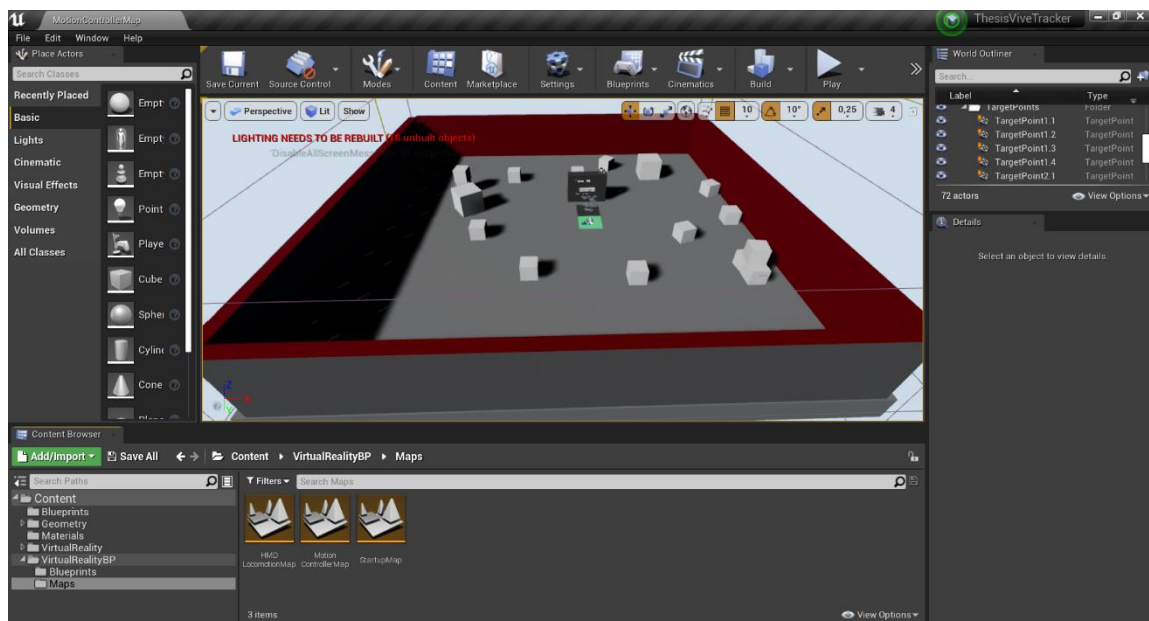
Sovelluksen toteuttamiseen on käytetty Epic Games, Inc -yrityksen kehittämää Unreal Engine 4 -pelimoottoria [39], joka soveltuu moneen käyttötarkoitukseen ja joka on lisäksi ilmainen. Unreal Engine valittiin tähän projektiin, koska siinä on sisäänrakennettuna virtuaalitodellisuustuki.

Projektia aloitettaessa tehtiin uusi projekti, jossa käytettiin Unreal Enginen omaa VR-esimerkki-projektia. Esimerkkiprojekteissa on valmiina VR-pelaamiseen vaadittavat asetukset ja kontrollit. Kuvassa 8 esitetään, miten uusi projekti on luotu sisäänrakennettua tukea hyödyntämällä.



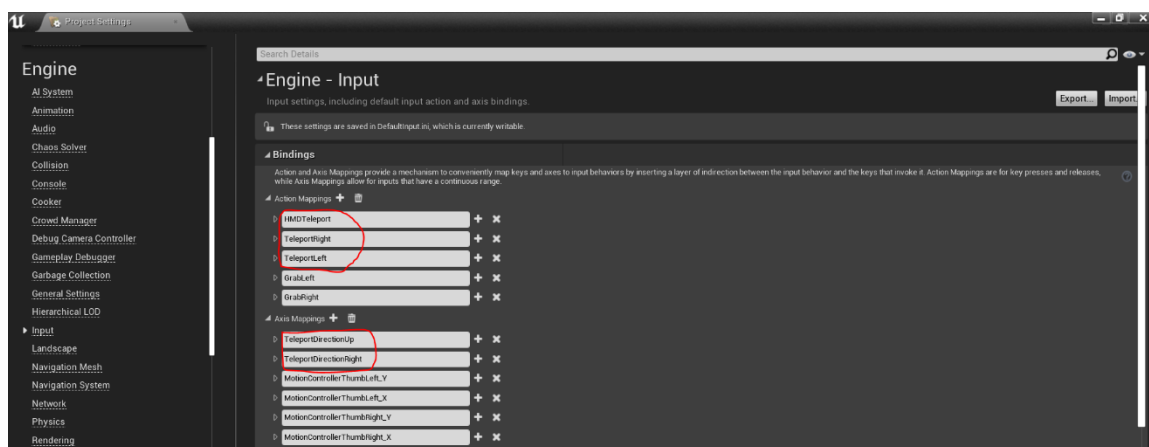
Kuva 8. Uuden projektin aloittaminen.

Projekti päädyttiin tekemään MotionControllerMap-nimisessä esimerkkitasossa, joka näkyy kuvassa 9. Tasossa on valmiina pelaajahahmo, jota virtuaalitodellisuuslaseja käyttävä pelaaja voi kontrolloida. Tasosta poistettiin joitakin ylimääräisiä kuutioita ja tekstejä sekä aseteltiin kuutioita hieman eri kohtiin pelaajan ympärille.



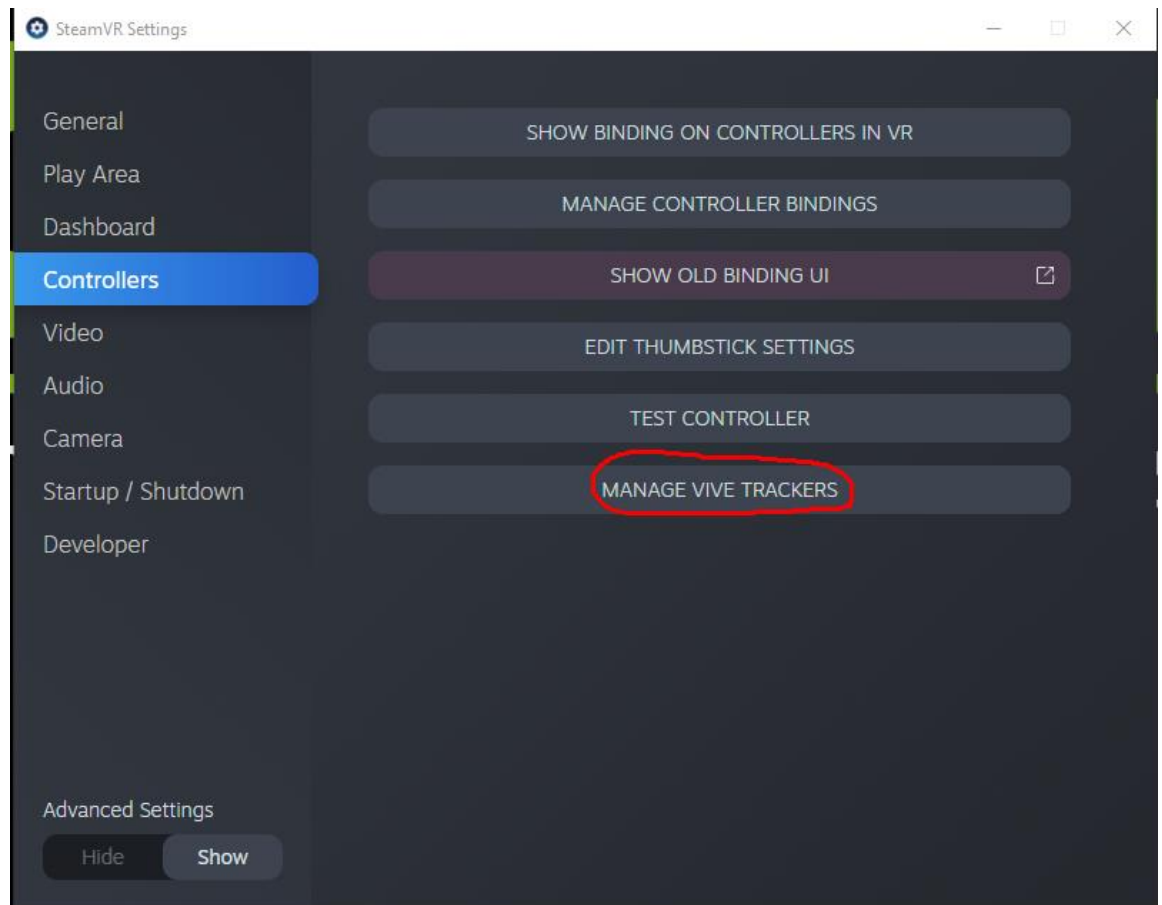
Kuva 9. Muokattu taso.

Pelistä poistettiin myös mahdollisuus liikkua teleporttaamalla ottamalla pois käytöstä Action Mappings -kohdasta kaikki teleporttaamiseen liittyvät asetukset (kuva 10). Teleportaatiolla tarkoitetaan pelimaailmassa paikasta toiseen välittömästi siirtymistä.



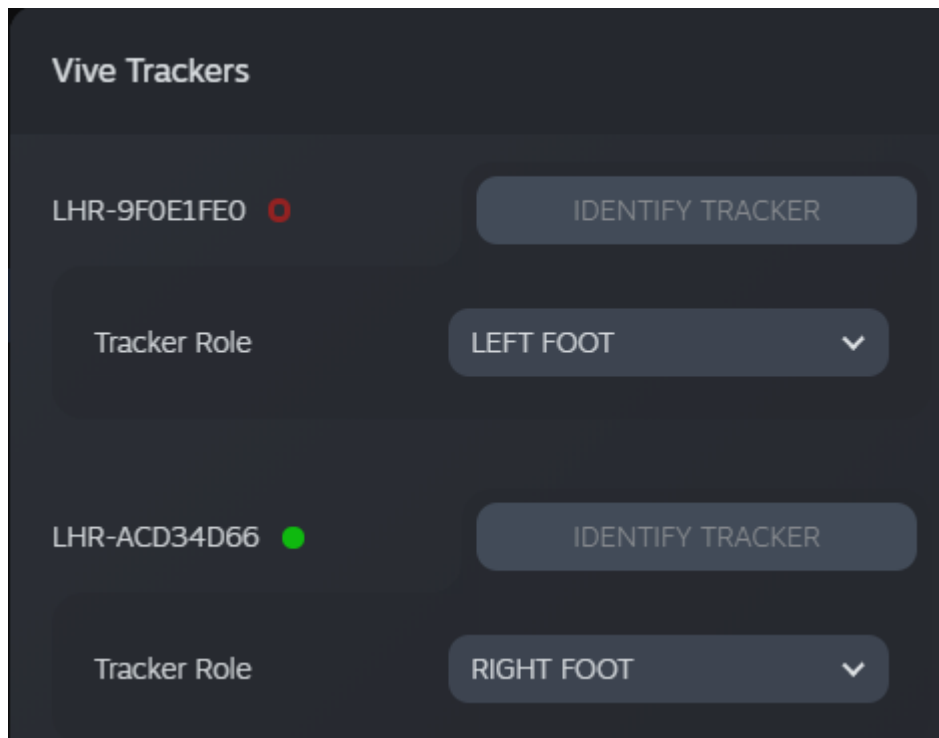
Kuva 10. Projektin asetukset.

Jotta Vive Tracker -seurantalaitteen seurannan saa toimimaan Unreal Engine -pelimoottorissa, pitää aluksi tehdä muutoksia SteamVR-asetuksista (kuva 11).



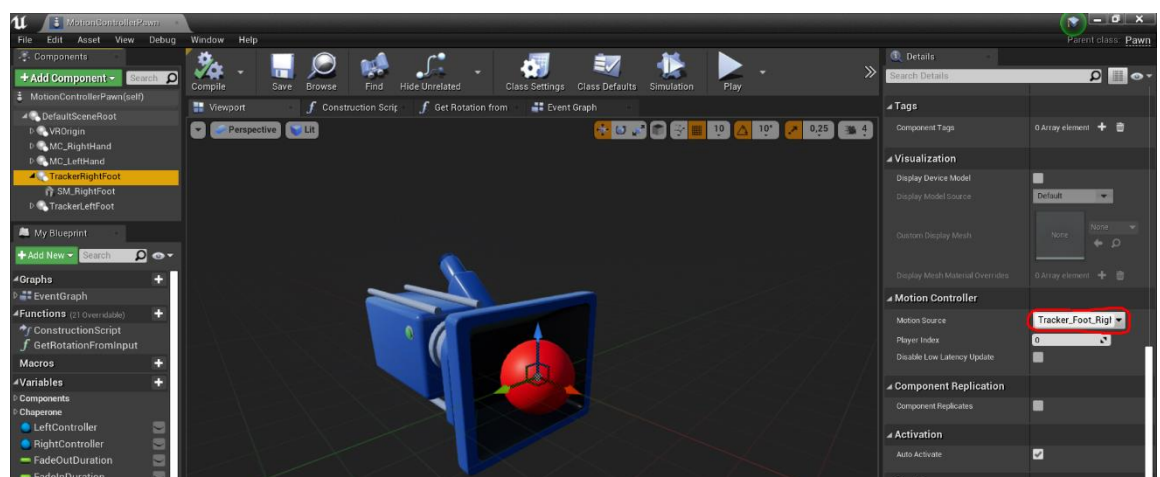
Kuva 11. SteamVR-asetukset.

Valitsemalla SteamVR-asetuksista kohdan manage vive trackers avautuu kuvan 12 näkymä. Seuraavaksi asetetaan Tracker Role -asetus kuvan mukaisesti oikean ja vasemman jalan seurantaan.



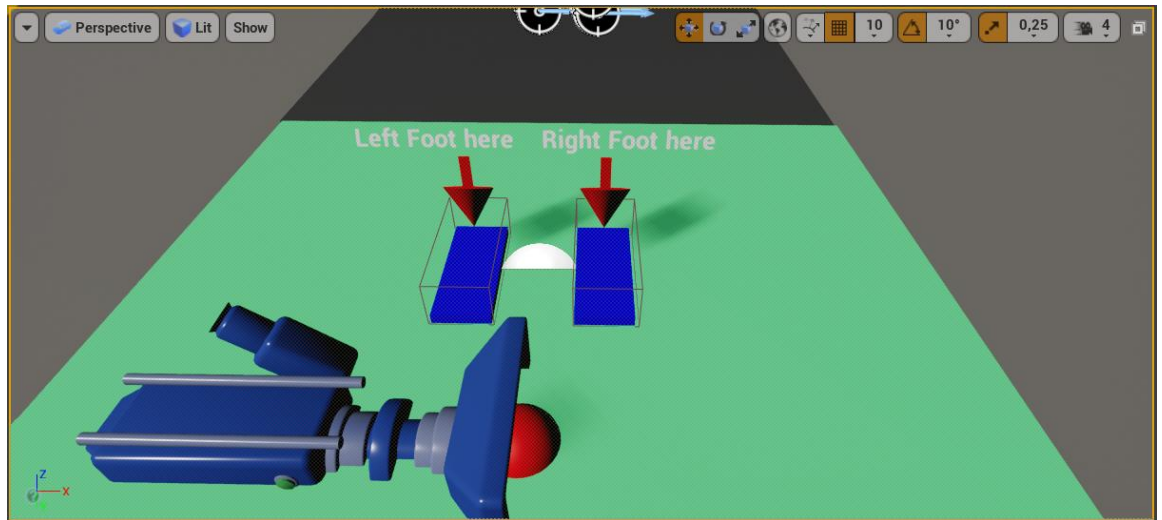
Kuva 12. Tracker Role -asetuksen valitseminen.

Kuvassa 13 näkyy TrackerRightFoot-niminen Motion Controller -komponentti, jolle on asetettu MotionSource-niminen muuttuja oikean jalan seurantaan. Sama tehdään myös vasemman jalan osalta.



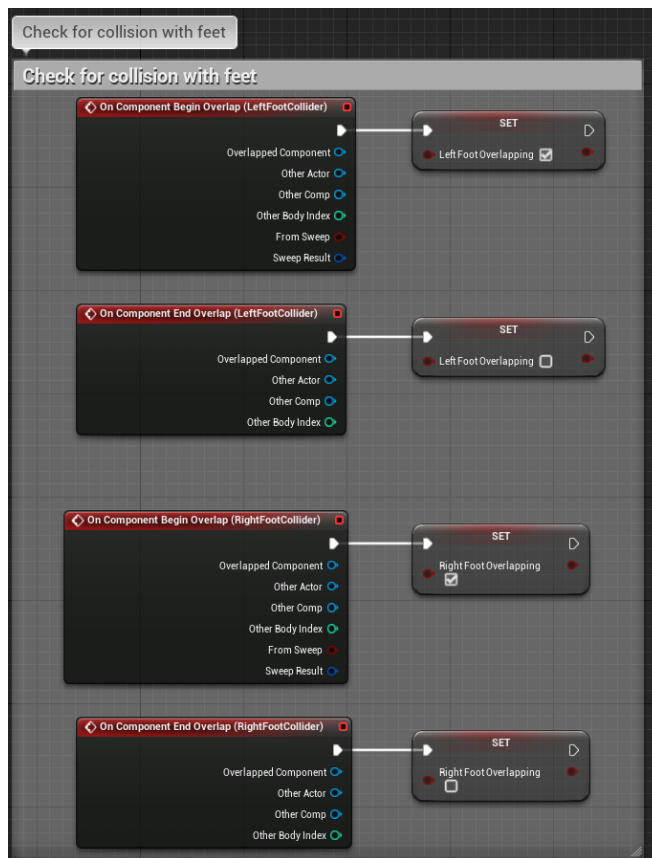
Kuva 13. Motion Controller -komponentin MotionSource-muuttujan asettaminen.

Pelin alussa kalibroidaan jaloissa olevat seurantalaitteet vastaamaan pelissä näkyviä jalkoja. Ei ole väliä, kummin päin pelaaja on asettanut seurantalaitteet jalkaansa (kuva 14).



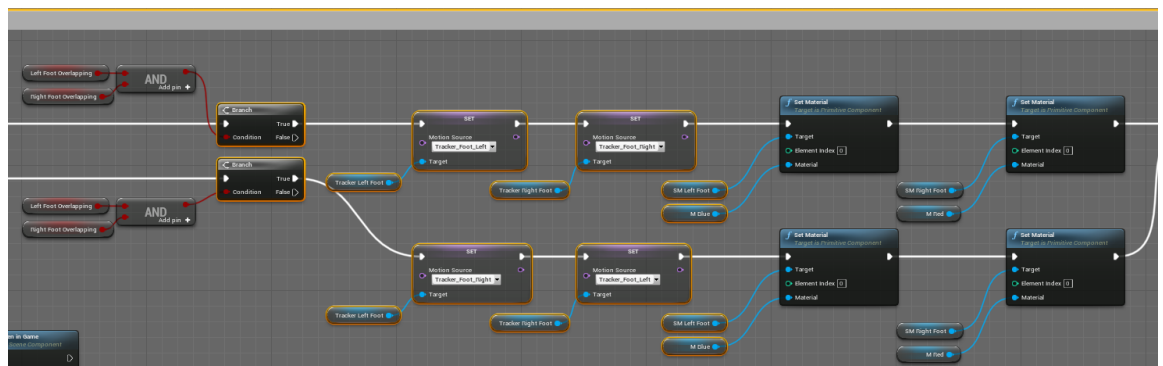
Kuva 14. Jalkojen kalibrointi.

Aluksi tarkistetaan, ovatko molemmat seurantalaitteet törmänneet oikean ja vasemmanpuoleisten sinisten laatikoiden suojakehään, joka estää asioiden päällekkäin menemisen (kuva 15).



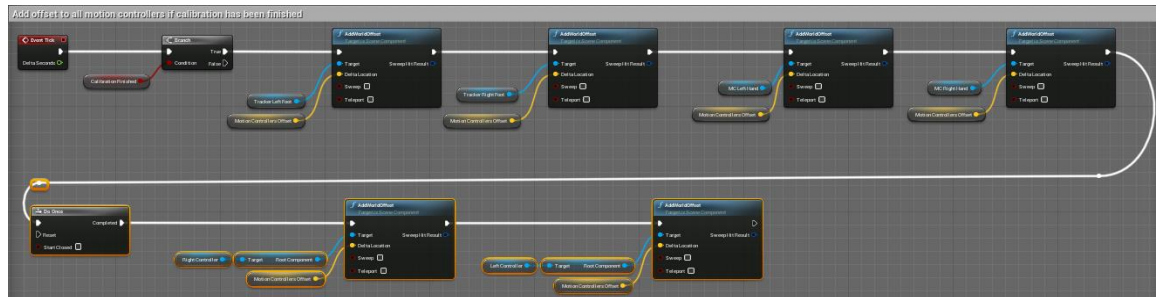
Kuva 15. Jalkojen törmäystarkastukset.

Kuvassa 16 oleva koodi asettaa vasemman/oikean seurantalaitteen MotionSource-nimisen muuttujan arvon sekä oikean väriset materiaalit oikeaan jalkaan riippuen useammasta ehdosta.



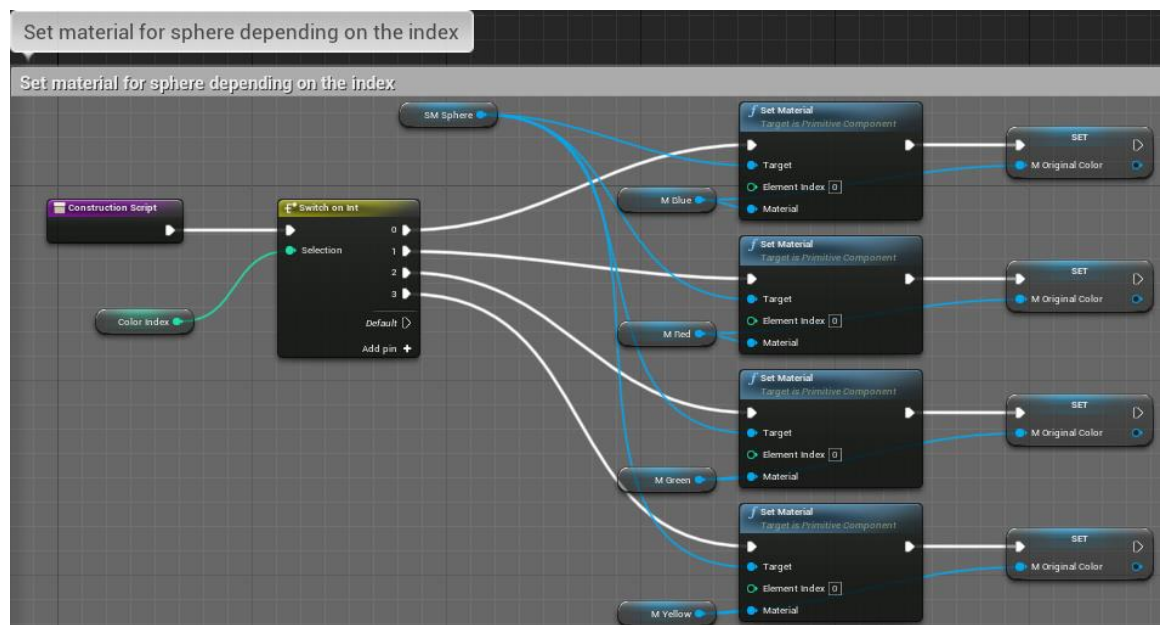
Kuva 16. Osa seurantalaitteiden kalibroinnin logiikasta.

Kun kalibrointi on suoritettu, siirretään pelaajan käsien ja jalkojen sijainnit kolme metriä pelaajan eteen (kuva 17).



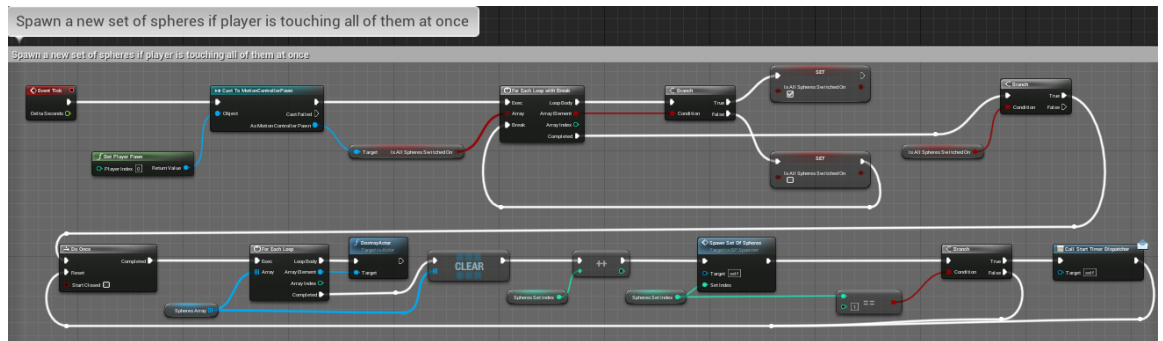
Kuva 17. Logiikkaa pelaajan käsien ja jalkojen sijaintien siirtämiseksi.

Kuvassa 18 asetetaan pallon väri riippuen Color index -muuttujan indeksistä, joka asetetaan, kun pallot ilmaantuvat näkyville.



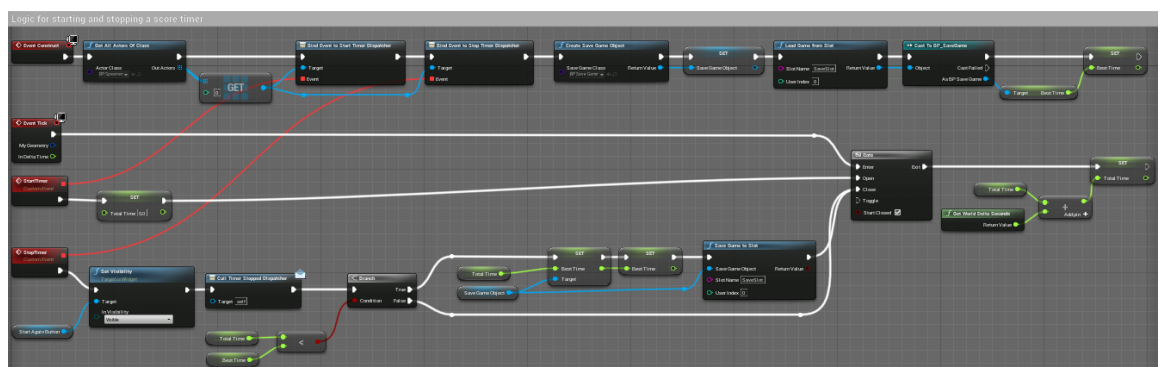
Kuva 18. Pallon värin määrittäminen.

Kuvassa 19 oleva koodi saa uuden setin palloja ilmestymään pelimaailmaan, jos kaikki ohjainlaitteet ovat kosketuksissa kaikkiin palloihin.



Kuva 19. Logiikkaa pallojen ilmaantumiseen pelimaailmassa.

Kuvassa 20 on logiikkaa ajastimen käynnistämiseksi ja pysäyttämiseksi. Koodi myös tallentaa tiedostoon pelaajan saavuttaman parhaimman ajan. Täten mikäli peli käynnistetään uudestaan, ei pelaajan paras aika katoa, vaan se voidaan ladata tiedostosta.



Kuva 20. Logiikkaa ajastimelle.

7 Pohdinta

Liikunnallisten virtuaalitodellisuuspelien kehittämiseen liittyy monia haasteita. Ensinnäkin pelaaminen vaatii tilaa, jota ei välttämättä aina ole tarpeeksi käytettävissä. Mikäli tilaa ei ole tarpeeksi, vaarana on, että pelissä satuttaa itsensä esimerkiksi potkaisemalla seinään. Myös lasien paino voi tuntua etenkin fyysisessä suorituksessa ylimääräiseltä rasitteelta. Fyysisessä suorituksessa myös hikoileminen voi koitua ongelmaksi, kun hiki valuu lasien sisälle. Mikäli käytössä olisi langattomat, kevyet VR-lasit ja riittävän iso pelihalli, myös haastavammat ja monipuolisemmat liikkeet onnistuisivat nykyistä paremmin.

Myös seurantalaitteen käyttämiseen liittyy omat haasteensa. Laitteen kiinnittäminen vaatii ylimääräistä vaivaa ja se vie myös aikaa, joka on pois varsinaisesta pelaamisesta. Tämä saattaa heikentää intoa seurantalaitteiden käyttämiseen.

Seurantalaitteita voitaisiin hyödyntää myös eri liikesuoritusten kuten tanssin tai urheilusuorituksen yksityiskohtien hiomisessa. Kun kehon ja kasvojen liikkeiden seuranta kehittyy tarkemmaksi, myös sosiaalinen kanssakäyminen voi rikastua virtuaalitodellisuudessa.

8 Yhteenveto

Projektissa tehty peli onnistui suunnitellulla tavalla. Koska peli oli idealtaan yksinkertainen, sen toteuttamisessa ei ilmaantunut suurempia ongelmia. Projektin suunnitteluvaiheessa piti kuitenkin karsia joitakin peli-ideoita. Osassa ideoista osoittautui ongelmaksi mahdollisuus kompastua johtoon tai johdon kiertyminen mutkalle. Virtuaalitodellisuuslasien suhteellisen kapea näkökenttä myös rajoitti joidenkin ideoiden toteuttamista. Kapea näkökenttä tekisi joidenkin pelissä esiintyvien elementtien havainnoimisesta liian hankalaa tai käyttäjän pitäisi kääntää päätä luonnottoman paljon havainnoidakseen pelissä oleelliset asiat. Jotkut ideat olisivat taas vaatineet käyttäjältä edistynyttä kehon hallintaa jo heti pelin alussa ja joissain ideoissa muodostui ongelmaksi, miten visualisoida/opettaa käyttäjälle oikea liikerata.

Vaikka pelin toimintalogiikka muistuttaakin hieman Twisteriä, siinä on kuitenkin oleellisia eroja. VR-pelissä pelataan ainoastaan aikaa vastaan toisin kuin Twisterissä, jossa voi hävitä, mikäli pelin aikana koskee maahan. VR-pelissä voi yrittää parantaa omaa ennätystään yhä uudelleen.

Jatkokehittelyä varten peliin voisi tehdä kalibroinnin eripituisia ihmisiä varten, koska tällä hetkellä peli on suunniteltu vain tietyn pituisille henkilöille. Projektissa kehitettyä peliä voidaan pitää prototyyppinä, jolla on kuitenkin paljon jatkokehitysmahdollisuuksia. Jos pelin haluaisi kaupalliseen käyttöön, pitäisi siihen lisätä esimerkiksi äänet ja parantaa visuaalista ilmettä. Peliin voisi myös lisätä uusia kenttiä tai useampia pallosettien sarjoja, jotka olisivat aina edeltäviä sarjoja haastavampia. Koska prototyyppiin sisältyy vain rajallinen määrä liikkeitä, sarjojen tai pallosettien lisääminen monipuolistaisi liikkumista.

Lähteet

- 1 Woodford C. What is virtual reality? - A simple introduction. 2020. Saatavissa: <https://www.explainthatstuff.com/virtualreality.html>. [viitattu 12. tammikuuta 2021].
- 2 Steinicke F. Being really virtual. Immersive Natives and the Future of Virtual Reality. Cham: Springer International Publishing. 2016.
- 3 Merriam-Webster. Virtual Reality | Definition of Virtual Reality by Merriam-Webster. 2021. Saatavissa: [https://www.merriam-webster.com/dictionary/virtual reality](https://www.merriam-webster.com/dictionary/virtual%20reality). [viitattu 12. tammikuuta 2021].
- 4 Sherman WR, Graig AB. Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design - William R. Sherman, Alan B. Craig - Google-kirjat. 2019. Saatavissa: https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=D-OcBAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=virtual+reality&ots=QR2ejhcT0N&sig=hl2h9iu-30de7zQPCXtpHHxROsk&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false. [viitattu 13. tammikuuta 2021].
- 5 Brooks FP. What's real about virtual reality? - IEEE Journals & Magazine. 1999. Saatavissa: <https://ieeexplore.ieee.org/document/799723>. [viitattu 5. helmikuuta 2021].
- 6 Jerald J. The VR book: Human-centered design for virtual reality. Morgan & Claypool. 2015.
- 7 Mazuryk T, Gervautz M. Virtual Reality History, Applications, Technology and Future. 1999. Saatavissa: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.42.7849&rep=rep1&type=pdf>. [viitattu 5. helmikuuta 2021].
- 8 Batchelor J. The cutting edge of motion capture | MCV/DEVELOP. 2015. Saatavissa: <https://www.mcvuk.com/development-news/the-cutting-edge-of-motion-capture/>. [viitattu 6. helmikuuta 2021].
- 9 Clifford M. Gamasutra: Mitchell Clifford's Blog - Motion Capture on a Budget - Animating

- Satellite Reign. 2013. Saatavissa:
https://www.gamasutra.com/blogs/MitchellClifford/20131017/202611/Motion_Capture_on_a_Budget__Animating_Satellite_Reign.php?print=1. [viitattu 6. helmikuuta 2021].
- 10 History Of Virtual Reality - Virtual Reality Society. Saatavissa:
<https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html>. [viitattu 17. huhtikuuta 2021].
- 11 Matt B, Russel H. Everything you need to know about the Vive Tracker | VRHeads. 2017. Saatavissa: <https://www.vrheads.com/everything-we-know-about-vive-tracker>. [viitattu 18. tammikuuta 2021].
- 12 About Us - Valve Corporation. 2021. Saatavissa:
<https://www.valvesoftware.com/en/about>. [viitattu 18. tammikuuta 2021].
- 13 Exergaming. Saatavissa: <https://reference.jrank.org/fitness/Exergaming.html>. [viitattu 18. huhtikuuta 2021].
- 14 Carbotte K. You Can Use A Kinect For Full Body Tracking In SteamVR; Here's How | Tom's Hardware. 2017. Saatavissa: <https://www.tomshardware.com/news/driver4vr-kinect-full-body-vr-tracking,35476.html>. [viitattu 20. huhtikuuta 2021].
- 15 VIVE European Union | Discover Virtual Reality Beyond Imagination. Saatavissa:
<https://www.vive.com/eu/>. [viitattu 5. maaliskuuta 2021].
- 16 Kitagawa M, Windsor B. MoCap for Artists. Workflow and Techniques for Motion Capture. UK: Elsevier. 2018.
- 17 MTi User Manual. 2020. Saatavissa:
https://www.xsens.com/hubfs/Downloads/usermanual/MTi_usermanual.pdf. [viitattu 24. huhtikuuta 2021].
- 18 Cherveny P. Optical Motion Capture | BEST Performance Group. Saatavissa:
http://bestperformancegroup.com/?page_id=31. [viitattu 24. huhtikuuta 2021].
- 19 Oh Y, Yang S. Defining exergames & exergaming. 2010. Saatavissa:
https://www.researchgate.net/publication/230794344_Defining_exergames_exergaming. [viitattu 6. helmikuuta 2021].

- 20 Bogost I. The Rhetoric of Exergaming. Saatavissa: <http://bogost.com/downloads/i.bogost-the-rhetoric-of-exergaming.pdf>. [viitattu 18. huhtikuuta 2021].
- 21 Michael D, Sande C. Serious Games: Games That Educate, Train and Inform. Boston. Thomson Course Technology PTR. 2006.
- 22 Nintendo - About us - Nintendo - Official Site. Saatavissa: <https://www.nintendo.com/about/>. [viitattu 18. huhtikuuta 2021].
- 23 Kari T. Digitaaliset liikuntapelit-huvia ja terveyshyötyä. 2017. Saatavissa: <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/54714/karidigitaalisetliikuntapelit.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [viitattu 18. huhtikuuta 2021].
- 24 Rizzo A, Lange B, Suma E, Bolas M. Virtual Reality and Interactive Digital Game Technology: New Tools to Address Obesity and Diabetes. 2011. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/51083651_Virtual_Reality_and_Interactive_Digital_Game_Technology_New_Tools_to_Address_Obesity_and_Diabetes. [viitattu 6. helmikuuta 2021].
- 25 Fottrell Q. People spend most of their waking hours staring at screens - MarketWatch. 2018. Saatavissa: <https://www.marketwatch.com/story/people-are-spending-most-of-their-waking-hours-staring-at-screens-2018-08-01>. [viitattu 6. helmikuuta 2021].
- 26 Sween J, Wallington SF, Sheppard V, Taylor T, Llanos AA, Adams-Campbell LL. The role of exergaming in improving physical activity: A review. Vsk. 11. Human Kinetics Publishers Inc. 2014. Saatavissa: </pmc/articles/PMC4180490/?report=abstract>. [viitattu 6. helmikuuta 2021].
- 27 ACSM Information On... Exergaming. 2021. Saatavissa: <https://healthysd.gov/wp-content/uploads/2014/11/exergaming.pdf>. [viitattu 6. helmikuuta 2021].
- 28 What is 'exergaming' and how does it work? | Health24. 2018. Saatavissa: <https://www.news24.com/health24/Fitness/News/what-is-exergaming-and-how-does-it-work-20180403>. [viitattu 6. helmikuuta 2021].
- 29 The Benefits of Exergaming for Kids / Fitness / Exercises. 2021. Saatavissa:

<https://www.fitday.com/fitness-articles/fitness/exercises/the-benefits-of-exergaming-for-kids.html>. [viitattu 6. helmikuuta 2021].

- 30 Cruickshank V, Cooley D, Pedersen S. Exergames: good for play time, but should not replace physical education. 2017. Saatavissa: <https://theconversation.com/exergames-good-for-play-time-but-should-not-replace-physical-education-83954>. [viitattu 6. helmikuuta 2021].
- 31 Thin AG, Brown C, Meenan P. User experiences while playing dance-based exergames and the influence of different body motion sensing technologies. 2013. Saatavissa: <https://www.hindawi.com/journals/ijcgt/2013/603604/>. [viitattu 6. helmikuuta 2021].
- 32 Shaw A, Wunsche B, Lutteroth C, Marks S. Challenges in virtual reality exergame design. 2015. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/283736084_Challenges_in_virtual_reality_exergame_design. [viitattu 6. helmikuuta 2021].
- 33 FG Team. Playbike Turns Stationary Bike Workouts into Compelling Gaming Experiences - Fitness Gaming. 2017. Saatavissa: <https://www.fitness-gaming.com/news/fitness-and-sports/playbike-turns-stationary-bike-workouts-into-compelling-gaming-experiences.html>. [viitattu 6. helmikuuta 2021].
- 34 Reed C. 5 Active Video Games That Can Help You Get in Shape. 2015. Saatavissa: <https://www.cheatsheet.com/technology/5-active-video-games-for-better-health.html/>. [viitattu 6. helmikuuta 2021].
- 35 Rogers S. Virtual Reality Games To Keep You Fit During COVID-19 Lockdown. 2020. Saatavissa: <https://www.forbes.com/sites/solrogers/2020/04/07/virtual-reality-games-to-keep-you-fit-during-covid-19-lockdown/?sh=4f8c15474c16>. [viitattu 6. helmikuuta 2021].
- 36 Harveston K. How Virtual Reality Is Changing the Entertainment Industry - The Spread. 2019. Saatavissa: <http://cinemajam.com/mag/features/how-virtual-reality-is-changing-the-entertainment-industry>. [viitattu 6. helmikuuta 2021].
- 37 VR Exercise Ratings – Virtual Reality Institute of Health and Exercise. 2021. Saatavissa:

<https://vrhealth.institute/vr-ratings/>. [viitattu 6. helmikuuta 2021].

- 38 Granqvist A, Takala T, Hämäläinen P, Takatalo J. Exaggeration of avatar flexibility in virtual reality. 2018. Saatavissa: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3242671.3242694>. [viitattu 2. maaliskuuta 2021].
- 39 Liu J, Zheng Y, Wang K, Bian Y, Gai W, Gao D. A Real-time Interactive Tai Chi Learning System Based on VR and Motion Capture Technology. 2020. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050920316689>. [viitattu 2. maaliskuuta 2021].
- 40 Xu W, Liang HN, He Q, Li X, Yu K, Chen Y. Results and guidelines from a repeated-measures design experiment comparing standing and seated full-body gesture-based immersive virtual reality exergames: Within-subjects evaluation. 2020. Saatavissa: <https://games.jmir.org/2020/3/e17972>. [viitattu 3. maaliskuuta 2021].
- 41 Skeleton Conductor XR Art at Side Step Festival – Events – Helsinki XR Center. 2021. Saatavissa: <https://helsinkixrcenter.com/skeleton-conductor-xr-art-at-side-step-festival/>. [viitattu 4. maaliskuuta 2021].
- 42 Sivuaskel 2021 | Side Step 2021 | Hanna Pajala-Assefa, Daniel Leggat, Janne Storm: Skeleton Conductor XR Art | Osta lippu helposti | Tiketti. 2021. Saatavissa: <https://www.tiketti.fi/sivuaskel-2021-skeleton-conductor-xr-art-helsinki-xr-center-lippuja/73545>. [viitattu 4. maaliskuuta 2021].
- 43 Carbotte K. Games That Support HTC Vive Trackers | Tom's Hardware. 2017. Saatavissa: <https://www.tomshardware.com/picturestory/800-htc-vive-tracker-supported-games.html>. [viitattu 3. maaliskuuta 2021].
- 44 Fit It on Steam. Saatavissa: https://store.steampowered.com/app/951450/Fit_It/. [viitattu 4. maaliskuuta 2021].
- 45 Redfoot Bluefoot Dancing on Steam. Saatavissa: https://store.steampowered.com/app/646440/Redfoot_Bluefoot_Dancing/. [viitattu 4. maaliskuuta 2021].

- 46 Russel H. Best games with Vive Tracker support | Windows Central. 2018. Saatavissa: <https://www.windowscentral.com/best-games-vive-tracker-support>. [viitattu 4. maaliskuuta 2021].
- 47 Go VIVE tracker with UE4 for fully virtual camera rigs. Saatavissa: <https://onsetfacilities.com/go-vive-tracker-with-ue4-for-fully-virtual-camera-rigs/>. [viitattu 20. huhtikuuta 2021].
- 48 The most powerful real-time 3D creation platform - Unreal Engine. Saatavissa: <https://www.unrealengine.com/en-US/?sessionInvalidated=true>. [viitattu 12. huhtikuuta 2021].