



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

KUNTOUTTAVAT PELIT AR- YMPÄRISTÖSSÄ

Opinnäytetyö

TEKIJÄ/T:

Joonas Leppänen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Tietotekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Joonas Leppänen	
Työn nimi Kuntouttavat pelit AR-ympäristössä	
Päiväys 4.12.2020	Sivumäärä/Liitteet 30
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kuopio Health Lab -hanke	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli toteuttaa Varjon XR-1 -laseilla toimivia lisätyn todellisuuden pelejä, joita on mahdollista käyttää ja hyödyntää terveydenhuollossa esimerkiksi aivoverenkiertohäiriöpotilaan kuntoutuksen lisänä. Työn aihe tuli Kuopion Health Lab -hankkeen kautta.</p> <p>Työn teoriaosuudessa opiskeltiin ja tutkittiin, kuinka tällaisia lisätyn todellisuuden pelejä on mahdollista tehdä ja kuinka se käytännössä tapahtuu. Teoriaosuudessa myös selvitettiin alan ammattilaisten ja internetin kautta millaisia harjoitteita AR-maailmaan kannattaisi tehdä, että niistä olisi hyötyä oikeassa kuntoutustilanteessa.</p> <p>Kehitysosuudessa tehtiin Unity -pelimoottoria hyödyntäen pelejä, joita voidaan käyttää kuntoutustilanteissa. Kehitysosuuden edetessä kerättiin kommentteja terveydenhuollon ammattilaisilta ja kuntoutuksen piirissä olevalta henkilöltä. Jatkokehitys ja parannukset peleihin tehtiin näiden kommenttien pohjalta.</p> <p>Työn tuloksena toteutettiin pelejä, joita voidaan käyttää tehokkaasti lisänä terveydenhuollon neurologisissa kuntoutuksissa. Pelit ovat loistava lisä normaaliin kuntoutukseen, sillä niillä saadaan potilaan motivaatio ko- hoamaan. Vaikka näillä harjoituksilla ei vielä voida kokonaan korvata normaalia kuntoutusta ja siinä käytet- täviä harjoitteita, voidaan tuotetta jatkokehittämällä päästä yllättävänkin pitkälle.</p>	
Avainsanat Unity, Virtuaalitodellisuus, Lisätty todellisuus, C#, Visual Studio, Jatkettu todellisuus	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Information Technology	
Author(s) Joonas Leppänen	
Title of Thesis Augmented Reality games for neuro rehabilitation	
Date 4 December 2020	Pages/Appendices 30
Client Organisation /Partners Kuopio Health Lab -Project	
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to produce and develop augmented reality games for Varjo XR-1 headset that can be used in healthcare as neurorehabilitation exercises. The subject and the goals for the thesis came from the Kuopio Health lab project.</p> <p>The theoretical part of the thesis covered studying of the augmented reality technologies and how Unity game engine can be used to achieve set goals. Information about different rehabilitation exercises was gathered from the professionals in the healthcare field and from the Internet. By interviewing these professionals information about exercises that would be beneficial to build in the augmented reality environment and could be used in real-life rehabilitation was gathered.</p> <p>The development part of the thesis covered a development of augmented reality games using Unity game engine. As the development part progressed healthcare professionals and one patient tested these games and gave comments on how they feel about them. From these comments further development and fixes were made.</p> <p>As a result of this thesis, augmented reality games were developed for healthcare that can be used as rehabilitation exercises in neurorehabilitation. Games are an excellent bonus for rehabilitation since they are something out of ordinary and in most cases that will boost patients' motivation towards rehabilitation.</p>	
<p>Keywords Unity, Virtual reality, Augmented Reality, C#, Visual Studio, Extended reality</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
2	AR-TEKNOLOGIA.....	9
2.1	AR-laitteisto ja laitteet.....	9
2.2	Lisätty todellisuus vs. virtuaalitodellisuus	10
3	AR-TEKNOLOGIA TERVEYDENHUOLLOSSA	11
3.1	Terveydenhuollon AR-sovellukset.....	11
4	TOTEUTUKSESSA KÄYTETYT OHJELMISTOT JA LAITTEISTO.....	13
4.1	Käytetyt laitteet	13
4.2	Unity.....	15
4.3	Ohjelmointikieli ja -ympäristö.....	15
4.4	Cognitive3D.....	15
4.5	Varjo SDK ja SteamVR.....	16
5	AR-TOTEUTUS	17
5.1	Kauppapeli AR-ympäristössä	17
5.1.1	Ohjaimien toiminta ja käyttäminen	19
5.2	Valikot ja raycast	20
5.3	Virtuaalisten objektien siirtäminen pelitilassa	21
5.4	Pallopeli AR-ympäristössä	21
5.5	Palikkapeli AR-ympäristössä.....	23
5.6	Pöytätennis AR-ympäristössä	24
6	JATKOKEHITYS JA YHTEENVETO	26
6.1	Toiminnallisuus	26
6.2	Graafinen ulkoasu	26
6.3	Jatkokehitys kuntoutukseen.....	27
6.4	Yhteenveto.....	28
7	LÄHTEET.....	29

KUVALUETTELO

Kuva 1. Varjon XR-1 lasit. (Leppänen 2020).....	13
Kuva 2. Cognitive3D -ohjelmiston piirtämä heatmap ja näkymä sceneExplorerissa. (Leppänen 2020)	16
Kuva 3. Käyttäjän näkymä kauppapelissä Varjon XR-1 lasien läpi. (Leppänen 2020).....	17
Kuva 4. Käyttäjän näkemä ostoskori, joka piirtyy ohjaimen päälle. (Leppänen, 2020)	18
Kuva 5. Ääriviivojen piirtyminen kappaleen ympärille. (Leppänen, 2020).....	19
Kuva 6. Peleissä käytettävät nappulat. Liipaisin ja valikko (Leppänen, 2020)	20
Kuva 7. Päävalikko ja ohjaimesta lähtevä laserosoitin. (Leppänen, 2020).....	21
Kuva 8. Pallopelin maalitaulut ja heitettävät pallot. (Leppänen, 2020)	22
Kuva 9. Näkymä palikkapelistä. Kuvassa näkyvät siirrettävät kappaleet ja niiden hologrammit. (Leppänen, 2020)	23
Kuva 10. Näkymä pöytätennissä. Kuvassa näkyy pöytä, maila ja maalit joihin pelaajan tulee osua pallolla. (Leppänen, 2020)	24

KAYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

AR: Augmented reality (engl.). Järjestelmä, jossa keinotekoista, tietokoneella tuotettua tietoa on lisätty näkymään todelliseen ympäristöön.

Asset: Assetti on mikä vain objekti tai asia, jota käytät Unity projektissa. Esimerkiksi projektissa käytetyt 3D-mallit ovat asetteja.

Collider: Collider määrittää objektin muodon, jota voidaan käyttää fyysisessä kosketuksessa muiden objektien välillä. Esim. on kaksi palloa ja molempiin on määritetty collider. Colliderin ansiosta pallot törmäävät, eivätkä mene toistensa lävitse.

GSR tracking: Galvanic skin response (engl.). Käytetään mittaamaan ihmisen ihon sähkönjohtavuutta. (iMotions, 2020)

Heatmap: Graafinen datan näyttämisen muoto, jossa datan arvot ilmaistaan eri väreinä. (Hotjar, 2020)

MR: Mixed reality (engl.). Sekoitettu todellisuus on sekoitus AR ja VR tekniikkaa. Tämä on hyvin samankaltainen AR:än kanssa, mutta MR-maailmassa objektit ”ankkuroidaan” tietylle paikalle reaali-maailman.

Plugin: Ohjelmiston liitännäinen/lisäosa, jolla saa tietyt ominaisuudet ja asetukset käyttöön.

Prefab: Unityn Prefab systeemillä pystyt luomaan objektin, joka sisältää kaikki halutut tiedot ja arvot. Tämän sapluunan pystyy tallentamaan ja sitä voi käyttää uudelleen ilman, että arvoja ja tietoja joutuu uudelleen päivittämään. (Unity Technologies, 2020)

Raycast: Raycast luo säteen, jolla pystytään tarkistamaan, osuuko säde johonkin tiettyyn elementtiin. (Unity Technologies, 2020)

Rigidbody: Ominaisuus, jonka avulla kappaleeseen saadaan lisättyä Unityn fysiikkamoottorin ominaisuuksia. Rigidbody voi vastaanottaa voimia, kuten painovoima ja tämän avulla kappale saadaan liikkumaan realistisesti. (Unity Technologies, 2018)

Scene: Sisältää pelin sisällön ja ympäristön.

SDK: Software Development Kit (engl.). Työkalupaketti, jota voidaan käyttää ohjelmistojen tekemiseen ja kehittämiseen. (Kamenetsky, 2020)

Skripti: Script (engl.). Kommentisarja tai tietokonesovellus, jonka avulla saadaan toteutettua haluttuja toimintoja. (TEPA-termipankki, 2001)

Trigger: Triggerit ovat ”liipaisimia”, jotka suorittavat halutun komentosarjan, kun jokin koskettaa liipaisinta, poistuu liipaisimesta tai on liipaisimen sisällä. (loopyllama, 2011)

Unity: Unity Technologies:in kehittämä pelimoottori. (Unity, 2020)

VR: Virtual reality (engl.). Virtuaaliodellisuus on tietokoneella luoto keinotekoinen maailma, jota voidaan katsoa virtuaalilasien avulla.

XR: Extended reality (engl.). Laajennettu todellisuus on termi, jonka alle kootaan kaikki virtuaaliset ympäristöt eli, virtuaalitodellisuus (VR), lisätty todellisuus (AR) ja sekoitettu todellisuus (MR).

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on AR-tekniikan käyttäminen, sen hyödyntäminen ja valmiin sovelluksen kehittäminen neurologisen kuntoutuksen avuksi. Teknisenä toteutuksena opinnäytetyössä suunnitellaan ja toteutetaan AR-tekniikkaa hyödyntäviä pelejä Varjon XR-1 -laseille. Näiden pelien tarkoituksena pelillistää neurologisissa kuntoutuksissa käytettäviä harjoitteita, ja näin tehdä niistä mielenkiintoisempia verrattuna tavanomaiseen kuntoutukseen. Työn aikana selvitetään, onko tällaisia menetelmiä mahdollista käyttää oikeassa kuntoutustilanteessa. Kuntoutuksessa on jo käytössä VR-sovelluksia, mutta lisättyä todellisuutta hyödyntäviä sovelluksia ei juurikaan ole, joten tämä opinnäytetyö keskittyy pelkästään lisätyn todellisuuden hyödyntämiseen ja käyttämiseen.

Työn alussa esitellään lisätyn todellisuuden tekniikkaa ja laitteistoa, sekä kuinka tämä kyseinen tekniikka toimii ja millaisiin tarkoituksiin sitä on mahdollista käyttää. Lisäksi vertaillaan virtuaalitodellisuuden ja lisätyn todellisuuden eroja keskenään, jotta lukijalle muodostuu mahdollisimman tarkka mielikuva lisätyn todellisuuden toiminnasta. Tämän jälkeen käydään läpi lisätyn todellisuuden laitteita ja sovelluksia, joita on käytössä terveydenhuollossa.

Seuraavassa luvussa esitellään työn teknisessä osiossa käytetyt ohjelmistot ja laitteet, joilla kehittäminen on tapahtunut. Kappaleessa on esiteltyä Varjo XR-1 -lasien tärkeimmät ominaisuudet opinnäytetyön kannalta, sekä tärkeimmät ohjelmistot ja ympäristöt, joita toteutuksen tekemisessä käytettiin. Tämän jälkeen esitellään varsinainen opinnäytetyössä tehty tekninen toteutus. Luvussa esitellään kaikki opinnäytetyössä suunnitellut ja kehitetyt pelit, joita on yhteensä neljä. Kappaleessa käydään läpi, kuinka eri pelit toimivat ja mitä eri menetelmiä on käytetty niiden tekemiseen ja toiminnallisuuden toteuttamiseen.

Opinnäytetyön aihe tuli Kuopio Health Lab -hankkeelta. Hankkeessa suunnitellaan ja toteutetaan kokonaisuudet kolmeen eri terveystekniikan aihealueeseen: käytettävyyden testaus ja kehitys, terveyspelien, -simulaatioiden ja -sovellusten testaus ja kehitys, sekä EMC-testaus. (Savonia, 2017)

2 AR-TEKNOLOGIA

Lisätty todellisuudella tarkoitetaan teknologiaa, joka laajentaa reaali maailmaa lisäämällä siihen digitaalista sisältöä. Poiketen virtuaalisesta todellisuudesta käyttäjä näkee ympärillään olevan oikean maailman. Virtuaalitodellisuuteen verrattuna hyödyt ovat suuret, sillä käyttäjä näkee ympärillään olevan maailman ja mahdolliset esteet. Lisätyn todellisuuden mahdollistamaa tekniikkaa voidaan käyttää tuomaan käyttäjälle lisää tietoa ja ohjeita esimerkiksi korjaustilanteessa tai lääkärin apuna leikkaussalissa.

Lisätty todellisuus (Augmented Reality, AR) on näkymä, johon on lisätty virtuaalisia tietokoneella tuotettuja elementtejä ja objekteja, jotka näytetään käyttäjän näyttölaitteeseen. Lisätyt elementit voivat käytännössä olla mitä vain esim. kuvaa, ääntä, tekstiä, videoita tai virtuaalisia 3D-malleja. Toisin kuin virtuaalitodellisuudessa käyttäjä näkee ja kokee normaalin maailman, kun taas virtuaalitodellisuudessa käyttäjä näkee pelkästään tietokoneella tuotetun ympäristön. (FiCom, 2020)

2.1 AR-laitteisto ja laitteet

Lisätyn todellisuuden näyttötekniikat voidaan jakaa kolmeen kategoriaan; päässä pidettävä (head worn), kädessä pidettävä (handheld) ja projisoitava (projective). Päässä pidettävät näytöt jaetaan vielä kahteen eri luokkaan, optisiin näyttöihin ja videonäyttöihin. Optisissa näytöissä käyttäjälle näytetään todellisuus läpinäkyvän pinnan läpi ja virtuaalinen sisältö liitetään tähän pintaan. Videonäytössä todellisuus kuvataan laseissa olevan kameran läpi ja tämä sisältö liitetään virtuaaliseen sisältöön ennen sen esittämistä käyttäjälle. (Munkh-Uchral Erdenebat, 2017)

Kädessä pidettävät näytöt voivat olla esimerkiksi kameralla varustettu matkapuhelin tai taulutietokone, jossa on kamera. Laitteen näytöllä esitetään kameran kautta kuvattu ympäristö, joka on täydennetty lisätyn todellisuuden informaatiolla. Yksi suosituimmista lisättyä todellisuutta hyödyntävistä mobiilipeleistä on Pokemon GO. (Jensen, 2018)

Lisätyn todellisuuden toteuttamiseen on olemassa useita eri vaihtoehtoja. Yleisimpiä toimintatapoja ovat QR-koodit ja GPS. Puhelimen kameralla on mahdollista osoittaa QR-koodia, jolloin kännykkä näyttää virtuaalista sisältöä QR-koodin päällä. Toinen paljon puhelinsovelluksissa käytetty tekniikka on GPS. Tätä käytetään esimerkiksi edellä mainitussa Pokemon GO -pelissä. GPS:än avulla sovellus tietää sijaintisi ja tämän avulla näyttää kameran läpi aluekohtaista sisältöä. (TechLifeSport, 2018)

Projektionäytöt ovat nostaneet kiinnostusta lisätyn todellisuuden näyttölaitteina, sillä videoprojektorien koko on pienentynyt huomattavasti verrattuna aikaisempaan, ja nyt saatavana olevat projektorit eivät ole paljoa keskivertoa matkapuhelinta isompia. Tällaisia ratkaisuita on tutkittu käytettäväksi esimerkiksi lääketieteellisissä sovelluksissa, koska leikkaussalissa lisätty todellisuus olisi helpompi toteuttaa paikallaan olevan projektorin avulla, kuin lääkärin päässä ja silmillä pidettävällä näytöllä (MedCognition, 2019). Yksi tällaista tekniikkaa hyödyntävä laite AccuVein esitellään myöhemmin tässä opinnäytetyössä.

2.2 Lisätty todellisuus vs. virtuaalitodellisuus

Lisätyssä todellisuudessa virtuaaliset objektit tuodaan osaksi oikeaa maailmaa, kun taas virtuaalitodellisuudessa koko ympärillä oleva maailma on luotu virtuaalisesti. Lisätty todellisuus on myös usein helppokäyttöisempi, kuin virtuaalinen todellisuus, sillä se ei välttämättä vaadi erikoista laitteistoa, kuten virtuaalitodellisuuslaseja. AR-sovellukset toimivat usein tutuilla laitteilla, kuten puhelimilla ja tableteilla. Tämän takia AR:stä on tullut hyvin suosittua lyhyessä ajassa. Analyysien mukaan Applen ARKit ja Googlen ARCore, jotka ovat AR-kehityksessä käytettäviä työkaluja ovat vauhdittaneet AR-sisällön tuottamista puhelimille. (Sosna, 2019)

Lisätty todellisuus on parhaimmillaan tilanteissa, joissa käyttäjän täytyy nähdä ympärillä oleva oikea maailma pelkän virtuaalisen maailman sijaan. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi etätuki, työpaikalla tapahtuva koulutus, etäyhteistyö ja tietokoneohjatut tehtävät. Lisättyä todellisuutta hyödyntämällä esimerkiksi työtehtävien kouluttamisesta saadaan huomattavasti mielenkiintoisempaa, kuin perinteinen kouluttaminen, joka tapahtuu usein PowerPoint-esitysten tai manuaalien lukemisen kautta. Virtuaalitodellisuuden puolella käyttäjällä voi ilmetä helpommin pahoinvointia, varsinkin jos käyttäjällä ei ole aikaisempaa kokemusta virtuaalitodellisuuden käyttämisestä. Lisätty todellisuus ratkaisee mahdollisen pahoinvointi ongelman ja sen takia se on erinomainen vaihtoehto terveydenhuollossa käytettäviin kuntoutuksiin. Oikean ympäristön näkeminen tuo kuntoutuksessa olevalle henkilölle myös varmuutta suorittaa tehtäviä, sillä hän näkee mahdolliset esteet lasien läpi.

3 AR-TEKNOLOGIA TERVEYDENHUOLLOSSA

Tänä päivänä on käytössä tuhansia erilaisia AR-sovelluksia useilla eri aloilla. Tällaisia aloja ovat esimerkiksi peliala, armeija ja maanpuolustus, kiinteistövälitys, mainonta ja opetus. Käytännössä AR-tekniologiaa voidaan hyödyntää lähes millä tahansa alalla. (Sosna, Lisätty todellisuus terveydenhuollossa, 2019)

Terveydenhuollossa AR-tekniologian on ennustettu kasvavan 23 prosentin vuosittaista vuodesta 2017 vuoteen 2023. AR-tekniologiaa on jo käytössä esimerkiksi potilaiden ja lääkäreiden koulutuksessa, leikkauksen visualisoinnissa ja tautien simuloinnissa, joka edesauttaa potilaiden hoitoa ja hoidon toteutumista. (Sosna, Lisätty todellisuus terveydenhuollossa, 2019)

Terveydenhuollon piirissä on nopeasti huomattu AR-tekniologian hyödyt ja sitä on käytetty terveydenhuollon parissa työskentelevien ihmisten kouluttamiseen onnistuneesti. Terveydenhuollon ammattilaisten täytyy opetella ja osata erittäin paljon ihmisen anatomiasta ja siitä, kuinka ihmisen keho toimii. AR antaa käyttäjälleen mahdollisuuden nähdä ja olla vuorovaikutuksessa visuaalisten 3D-mallien kanssa. Tällainen 3D-malli voi olla esimerkiksi ihmiskeho. (Madison, 2018)

Terveydenhuollon ammattilaiset eivät kuitenkaan ole ainoita, joita AR-tekniologia hyödyttää terveydenhuollossa. AR-tekniologiaa käytetään myös potilaiden hyväksi ja sen avulla potilaille voidaan esimerkiksi näyttää, kuinka kirurgiset operaatiot tehdään ja kuinka heille määrätyt lääkkeet toimivat ja vaikuttavat. (Madison, 2018)

3.1 Terveydenhuollon AR-sovellukset

Terveydenhuollossa lisätyn todellisuuden sovelluksia käytetään usein kahteen eri tarkoitukseen, opetukseen ja harjoitteluun sekä diagnosointiin ja hoitamiseen. AR-sovellukset voivat huomattavasti lisätä hoidon tasoa, sillä AR-laitteita käyttäen kirurgit voivat esimerkiksi tarkkailla potilaan elintoimintoja ja muita tärkeitä tietoja leikkaukseen liittyen. Tämä vähentää leikkauksiin liittyviä riskejä, sillä leikkauksen osalta oleellinen tieto on koko ajan kirurgin saatavilla.

Esimerkiksi Google Glass -laitetta on käytetty onnistuneesti osana leikkausta. Vuonna 2016 laseja käytettiin osana pallolaajennus leikkausta, jossa avataan sepelvaltimossa oleva tukos, joka estää veren virtaamisen sydänlihakseen. Varsovassa sijaitsevassa kardiologian instituutissa tehdyssä leikkauksessa kirurgit näkivät lasien läpi CT-kuvauksella otettuja kuvia potilaan sydäimestä ja verisuonista. (Best, 2016)

Yksi laajasti terveydenhuollossa käytetty AR-tekniologiaa hyödyntävä laite on AccuVein. AccuVein käyttää projektiopohjaista AR:ää. Laite yhdistää laseria käyttävän skannerin, käsittelyjärjestelmän ja digitaalisen laserprojektion kädessä pidettäväksi laitteeksi, jonka läpi käyttäjä pystyy reaaliajassa paikantamaan potilaan kädessä olevat verisuonet. Tuotteen avulla esimerkiksi verikokeen ottaminen on huomattavasti helpompaa, sillä oikea kohta pistokselle löytyy heti eikä potilasta jouduta pistämään useaan kertaan, mikäli oikeaa kohtaa ei heti löydy. Tutkimusten mukaan ensimmäisen piston onnistuminen on 3,5 kertaa todennäköisempää, kun käytetään kyseistä laitetta. (AccuVein Inc, 2019)

Eräs mahdollisesti henkiä pelastava lisättyä todellisuutta hyödyntävä sovellus on AED4U. Tähän sovellukseen käyttäjät voivat lisätä paikkoja, joista löytyy defibrillaattori mahdollisen sairastapauksen sattuessa. Käyttäjien lisäämät paikkatiedot tallentuvat tietokantaan. Tietokannasta haetaan käyttäjän sijainnin perusteella oikea lokaatio ja defibrillaattorin tarkka sijainti näytetään puhelimen näytöllä kameraa hyödyntämällä. Ohjelman on kehittänyt Lucien Engel. (The Medical Futurist, 2019)

4 TOTEUTUKSESSA KÄYTETYT OHJELMISTOT JA LAITTEISTO

AR-ympäristöjä toteutettaessa on pohdittava sovelluksen ja käyttäjän kannalta oleellisia asioita useasta eri näkökulmasta. Käytössä oleva tila näyttölee hyvin tärkeää roolia käytännön toteutuksen kannalta, sillä käyttäjän pitää pystyä liikkumaan tilassa ilman, että hänellä on pelkoa kompastua tai törmäillä reaali maailman esineisiin. Tilan kannalta lisätty todellisuus tuo enemmän vapauksia ja helpottaa käyttäjän liikkumista verrattuna virtuaalitodellisuuteen, sillä käyttäjä näkee reaali maailman esteet lasien läpi. Tässä täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että virtuaaliset objektit peittävät osan oikean maailman näkymästä. Esimerkiksi isoja kappaleita käytettäessä tulee pelitilan olla tarpeeksi suuri, jotta käyttäjän ei tarvitse pelätä osuvansa fyysisiin objekteihin. Pelissä käytettyjen objektien koko tulisikin suunnitella ja miettiä tämän pohjalta. Reaali maailman näkeminen helpottaa myös mahdolliseen pahoinvointiin, jota saattaa virtuaalitodellisuuden sovelluksia käyttäessä ilmaantua.

Tässä työssä oli tavoitteena tehdä mahdollisimman yksinkertainen ja helppokäyttöinen pelikokemus, sillä oletuksella, että pelaajalla ei ole aikaisempaa kokemusta VR/AR-peleistä. Pelien kuntouttavan luonteen takia niistä tehtiin helposti lähestyttäviä ja potilaan kunnon mukaan säädettäviä, jotta jokainen pelejä pelaava henkilö kokisi onnistumisen tunteita ja näin saisi lisää motivaatiota jatkaa pelejä sekä kuntoutusta.

4.1 Käytetyt laitteet

Virtuaalisen sisällön näyttämiseen opinnäytetyössä käytettiin Varjo Technologies Oy:n kehittämiä Varjo XR-1 -laseja, jotka näkyvät alla olevassa kuvassa (Kuva 1). Lasit hyödyntävät laajennettua todellisuutta (Extended reality, XR), joka tarkoittaa sitä, että lasilla pystyy yhdistämään toimivaksi kokonaisuudeksi virtuaalitodellisuuden (Virtualreality, VR), yhdistetyn (Mixed reality, MR) ja laajennetun todellisuuden (Augmented reality, AR) teknologioita. (Varjo, 2020)



Kuva 1. Varjon XR-1 -lasit. (Leppänen 2020)

Varjon XR-1 -lasilla pystyy saumattomasti vaihtamaan lisätyn todellisuuden ja virtuaalitodellisuuden välillä, joka mahdollistaa lukemattomia erilaisia variaatiota hyödyntäen molempia tekniikoita. Lasissa on myös sisäänrakennettu 20/20 silmienseuranta, joka mahdollistaa käyttäjän silmien liikkeen seurannan erittäin tarkasti. 20/20 silmienseurannan ansiosta lasit ovat ainoat markkinoilla olevat

lasit, jotka pystyvät seuraamaan silmän liikettä ihmissilmän resoluutiolla. Varjon silmienseurantatekniikka on alan parhaimmista. (Varjo, 2020)

Lasien näyttö koostuu kahdesta erilaisesta näytöstä, joista toinen on huomattavasti tarkempi ja toimii resoluutiolla, joka vastaa ihmissilmän näkemää tarkkuutta. Tarkempi näyttö on sijoitettu niin, että se on käyttäjän näkökentän keskellä. Keskellä oleva näyttö kykenee tuottamaan 64 pikseliä per aste tarkkuutta, joka on noin 20 kertaa tarkempi, kuin muut markkinoilla olevat VR/AR/MR-lasit. (Varjo, 2020)

Varjon XR-1 -laseilla on myös mahdollista käyttää erittäin poikkeuksellista ja futuristista Varjo Workspace ympäristöä. Tämän ominaisuuden avulla käyttäjä näkee tietokoneen tuottaman kuvan suoraan lasien läpi. Käyttäjä siis pystyy tekemään kehitystyötä koko ajan laseja päässä pitäen, eikä perinteisille monitoreille välttämättä ole tarvetta. Ongelma muiden lasien kohdalla on se, että kehittäjä joutuu jatkuvasti ottaman lasit pois päästä, kun haluaa tehdä ohjelmaan muutoksia ja taas laittamaan lasit takaisin päähän testatakseen tehdyt muutokset. (Varjo Technologies, 2020).

Opinnäytetyötä tehtäessä huomattiin tämän olevan yksi isoimmista ja parhaimmista ominaisuuksista mitä laseista löytyi. Tämä ominaisuus toi huomattavan paljon käyttömukavuutta kehittämistyöhön, sekä säästi aikaa. Aikaisemmin VR-laseille kehitystyötä tehneenä suurta turhautumista aiheutti juuri lasien pois ottaminen ja niiden takaisin laittaminen, koska pienenkin muutoksen tehdessä ohjelmaa tulee testata. Toistoja lasien päähän laittamiseen ja niiden pois ottamiseen tuli päivän aikana huomattava määrä, joka Varjon laseja käyttäessä oli huomattavasti pienempi.

Lasit ovat suunniteltu pääasiassa teollisuuskäyttöön, joka käy hyvin ilmi tarkasteltaessa lasien hintaa, joka vuonna 2020 oli 9995 € + Varjon tarjoama tuki 1995 €. Laseissa käytettävä teknologia vaatii myös tietokoneelta huomattavasti enemmän tehoa verrattuna muihin markkinoilla oleviin lasisiin. Tämä käy ilmi Kaaviosta 1, johon on listattuna minimivaatimukset tietokoneelle, joilla laseja on mahdollista käyttää ja tuottaa laseille sopivaa sisältöä.

Component	Minimum
Processor	Inter Core i7-7820X
GPU	NVIDIA GeForce RTX 2080 Ti, or NVIDIA Quadro RTX 6000
Memory	32 GB
Video output	2 x DisplayPort 1.2 or 2 x Mini DisplayPort 1.2
USB Port	1 x USB-A 3.0
Connector Port	1 x Thunderbolt 3 Port

Kaavio 1, Varjo XR-1 lasien minimivaatimukset. (Varjo Technologies, 2020)

4.2 Unity

Unity on monialustainen pelimoottori, jonka on kehittänyt Unity Technologies. Pelimoottorilla voidaan kehittää kaksi- ja kolmiulotteisia selain-, konsoli- ja PC-pelejä. Unity käyttää Nvidian PhysX -fysiikkamoottoria, jonka ominaisuuksia käytetään hyväksi tässäkin toteutuksessa. Unitya on mahdollista käyttää monella eri alustalla ja siitä löytyy valmiina tuki esimerkiksi lisätyn todellisuuden ja virtuaalitodellisuuden kehitykselle. Unity:llä on myös erittäin kattava Asset Store, josta pystyy lataamaan esimerkiksi valmiita 3D-malleja, tekstuureita, animaatioita ja paljon muita kehitystyössä tarvittavia kappaleita. Osa näistä on maksullisia, mutta myös ilmaisia on saatavilla. Pelimoottorista on saatavilla ilmainen Unity:n lisäksi myös maksullinen Unity Pro. Nämä seikat yhdistettyinä tekee Unity-pelimoottorista erittäin suosittua ja laajasti käytettyä pelimoottoria. (Unity Technologies, 2020)

Unity:ssä on mahdollista käyttää kolmea eri ohjelmointikieltä: JavaScript, Boo ja C#. Vertailuissa ja stressitesteissä C# pärjää huomattavasti paremmin, kuin edellä mainitut. JavaScript ja Boo tuki on poistumassa ja jatkossa ainoana ohjelmointikielenä toimii C#. (Unity Technologies, 2020)

4.3 Ohjelmointikieli ja -ympäristö

Ohjelmointikieleksi valikoitui Microsoftin kehittämä C#, joka on olioperustainen kieli ja se toimii .NET kehitysympäristössä (W3Schools, 2020). Ohjelmointiympäristönä käytettiin Visual Studio 2019 ympäristöä. Myös Visual Studio on Microsoftin kehittämä ja sitä käytetään kehittämään erilaisia ohjelmistoja ja sovelluksia.

Valinta ohjelmointikielen ja ohjelmistoympäristön kohdalla oli erittäin helppo, sillä molemmat ovat jo entuudestaan tuttuja. Valintaa tuki myös se, että Unity pelimoottorista löytyy tuki molemmille, eikä niiden käyttöönotto vaadi erinäisiä toimenpiteitä, vaan aloittaminen on mutkatonta ja helppoa. Jatkoa ajatellen C# on loistava valinta ohjelmointikieleksi, kun käytetään Unity-pelimoottoria, sillä se tulee jatkossa olemaan ainoa Unity:n tukema ohjelmointikieli. Kyseinen ohjelmointikieli on myös erittäin suosittu ja laajasti käytetty, joten sen käyttämiseen ja ilmenneisiin ongelmiin löytyy paljon apua ja neuvoja.

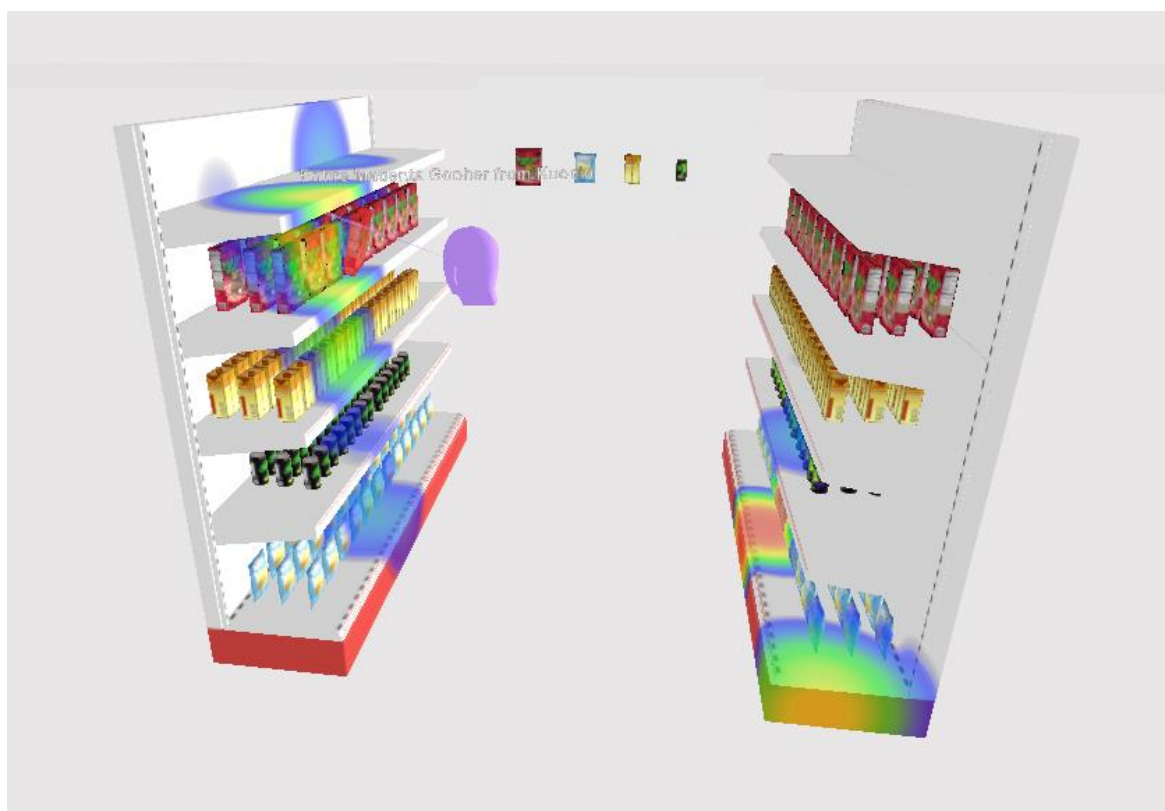
4.4 Cognitive3D

Opinnäytetyön aikana testattiin myös Varjon XR-1 lasesta löytyvää silmienseurantaa. Varjon oma ohjelmisto tallensi käyttäjän silmien liikkeitä koordinaattien muodossa Csv -tiedostoon, josta on hyvin hankala tulkita, minne käyttäjä katsoo milläkin hetkellä. Tietojen tarkempaa analysointia varten olisi pitänyt koodata ja kehittää sovellus, joka parsii saadut tiedot järkevästi kasaan. Tässä olisi ollut liian iso työ ajatellen opinnäytetyön aikataulua ja kyseinen aihe toimisi varmasti ihan omana opinnäytetyönään. Tämän ongelman ratkaisemiseksi otettiin käyttöön kolmannen osapuolen sovellus, jolla pystytään visualisoimaan dataa, jonka silmienseuranta muodostaa. Ohjelmistoksi valikoitui Cognitive3D, joka on Varjon sivuston mukaan valmiiksi optimoitu opinnäytetyössä käytetyille XR-1 laselle.

Cognitive3D on tehokas tila-analyysialusta, joka tarjoaa ammattilaistason data-analyysityökaluja, joilla pystytään visualisoimaan henkilön liikkeitä ja toimintaa virtuaalimaailmassa. Cognitive3D-sovelluksen avulla pystyy seuraamaan ja analysoimaan käyttäjän silmien liikettä, käyttäjän paikkaa

virtuaalimaailmassa, aivosähkökäyriä, sykettä, käyttäjän virtuaalimaailmassa suorittamia toimintoja ja GSR-seurantaa. (Cognitive3D, 2020)

Cognitive3D:n kautta käytettiin ja testattiin heidän sceneExplorer työkalua. Tämä työkalu luo heidän sivuilleen erillisen scenen, jossa näkyy virtuaalimaailmassa olevat objektit, mitä käyttäjä virtuaalimaailmassa tekee, missä hän kulkee ja mihin henkilön silmät katsovat. SceneExplorerin kautta on mahdollista myös seurata käyttäjän muitakin toimintoja, kuten esimerkiksi käyttäjän sykettä, mutta se vaatii erillisiä antureita, joita ei tässä opinnäytetyössä ollut käytössä. Teknisessä toteutuksessa käytettiin ainoastaan silmienseurantaa. Ohjelmisto luo käyttäjän silmiä seuraamalla scenen heatmapin, josta pystyy tarkastelemaan reaaliajassa mihin käyttäjä katsoo ja kuinka pitkään. Alla olevassa kuvassa näkyy ohjelmiston piirtämä heatmap (Kuva 2).



Kuva 2. Cognitive3D -ohjelmiston piirtämä heatmap ja näkymä sceneExplorerissa. (Leppänen 2020)

4.5 Varjo SDK ja SteamVR

Ennen kehitystyön aloittamista oli ladattava varjon XR Plugin, joka mahdollistaa tuen Varjon lasien käyttämiselle Unityn ympäristössä. Plugin mahdollistaa kuvan renderöinnin ja näyttämisen lasille, lasien ja ohjaimien seuraamisen, sekä silmienseurannan.

SteamVR on Valven luoma ohjelmisto, jonka kautta voidaan käyttää useita eri VR/AR-laseja ja ohjaimia. SteamVR vastaa lasien, sekä ohjaimien toiminnasta ja on pakollinen sovellus, kun tehdään kehitystyötä Varjon lasille. SteamVR on yksi Varjon vaatimuslistalta löytyvistä ohjelmista.

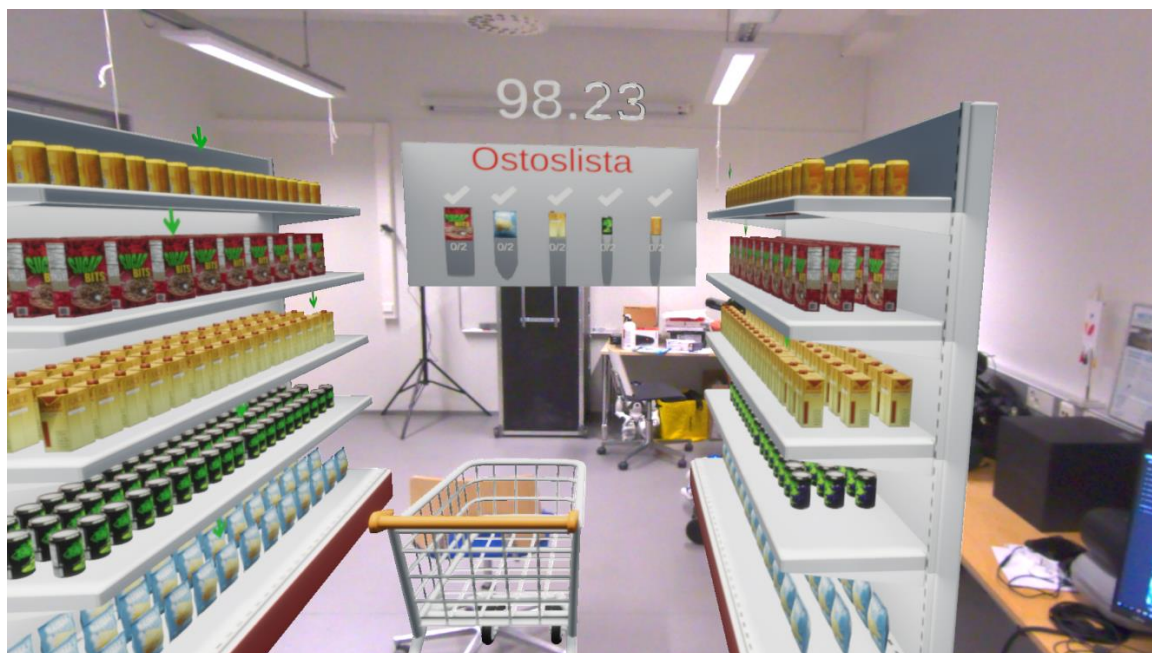
5 AR-TOTEUTUS

Terveydenhoidon piirissä on erilaisissa kuntoutustarkoituksissa jo käytetty virtuaalitodellisuutta onnistuneesti hyödyksi, mutta lisätyn todellisuuden ratkaisut ovat jääneet huomattavasti vähemmälle. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena olikin kehittää ja tehdä AR-ympäristössä toimiva lisätyn todellisuuden harjoitusympäristö, jossa käyttäjä pystyy harjoittamaan motorisia taitoja.

Teknisessä toteutuksessa tehtiin Unity -pelimoottoria hyödyntäen neljä erilaista peliä, joita voidaan käyttää kuntoutuksen apuna. Peleissä on tarkoituksena harjoittaa potilaan silmä-käsi koordinaatiota, sekä käden motorisia taitoja. Peleistä tehtiin tarkoituksen mukaisesti helposti lähestyttäviä ja säädetäviä, jotta mahdollisimman moni erilaisessa terveydentilassa oleva henkilö pystyy pelejä pelaamaan. Esimerkiksi peleissä olevia objekteja pystytään skriptin avulla siirtämään eri suunnissa, jotta pyörätuolissa olevien henkilöiden on mahdollista nämä harjoitukset läpäistä. Kaikissa peleissä perusperiaate on sama, mutta jokainen peli sisältää erilaisia tehtäviä ja harjoitteita, joita käyttäjän tulee suorittaa käyttäen Varjon XR-1 -laseja ja HTC Vive -ohjaimia.

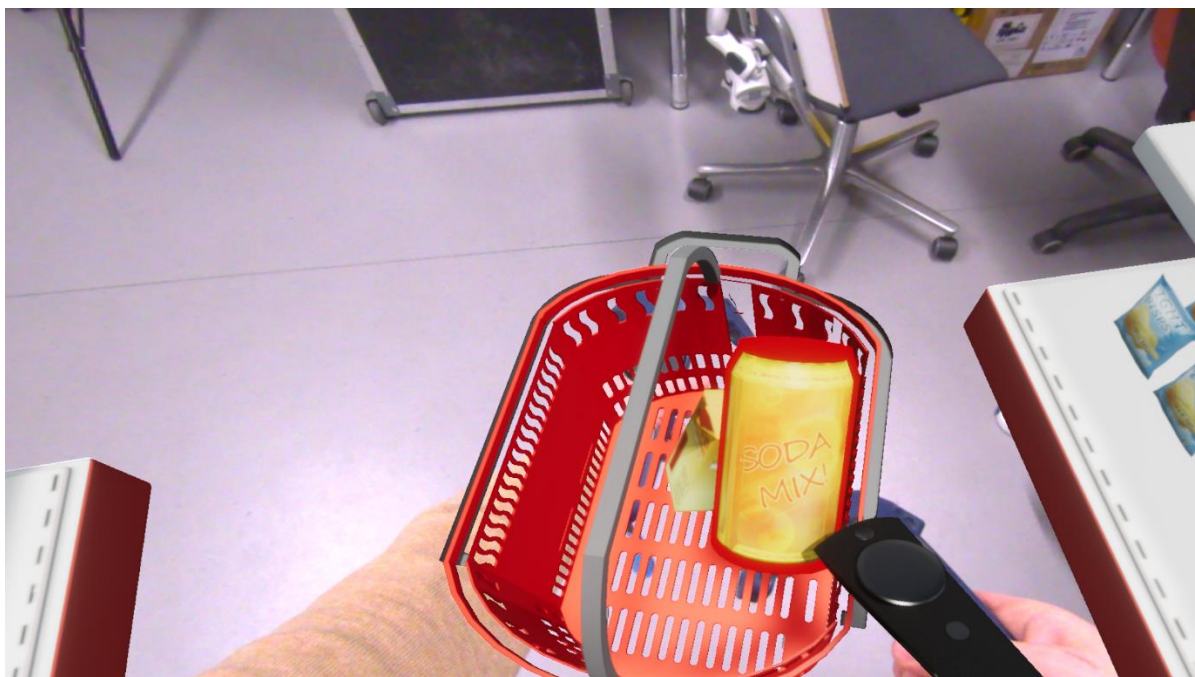
5.1 Kauppapeli AR-ympäristössä

Kauppapelissä kuntouttavat elementit tuodaan jokapäiväiseen askareeseen, eli kaupassa käyntiin ja tavaroiden poimimiseen hyllyiltä. Kauppapelin aloittaessa käyttäjä näkee Varjon XR-1 lasien läpi kaksi kaupan hyllyä, joissa on molemmilla puolilla viittä erilaista tuotetta ja ostoslistan, jossa on selkeästi esitetty mitä esineitä käyttäjän tulee hyllyistä poimia ja kuinka paljon. Poimittavien esineiden kohdat ja paikat ovat ennalta määritetty niin, että käyttäjällä tulee käden kurkottelua mahdollisimman moneen eri suuntaan ja korkeuteen. Tästä syystä kaupan hyllyt on sijoitettu käyttäjän molemmille puolille ja esineitä löytyy yhteensä viideltä eri korkeudelta. Poimittavat tuotteet on merkitty alapuolella näkyvässä kuvassa (Kuva 3) näkyvillä vihreillä nuolilla. Nuoliin on tehty animaatio käyttäen Unityn omaa Animation-työkalua. Nuolet liikkuvat y-akselin suuntaisesti tuoden käyttäjälle selkeästi ilmi mitä tuotteita hyllystä on mahdollista poimia.



Kuva 3. Käyttäjän näkymä kauppapelissä Varjon XR-1 lasien läpi. (Leppänen 2020)

Tässä harjoituksessa käyttäjä tarvitsee molempia HTC Vive ohjaimia, sillä toista ohjainta käyttämällä poimitaan tavarat hyllystä ja toisen ohjaimen päälle muodostuu joko virtuaalinen ostoskori tai ostoskärry. Virtuaalinen objekti siis seuraa toista HTC Viven ohjainta ja tämä on toteutettu muokkaamalla Varjon SDK:n tarjoamaa scriptiä paremmin kyseiseen käyttöön sopivaksi. Tämä tuo huomattavasti lisää immersiota peliin, sillä käyttäjä pitää fyysistä esinettä, eli ohjainta kädessään, mutta lasien läpi katsottuna ohjaimen tilalla on virtuaalinen objekti, joka näkyy alapuolella olevassa kuvassa (Kuva 4). Tämä luo tunnelman siitä, että sinulla olisi oikea ostoskori kädessäsi. Ostoskärryä testattiin laittamalla ohjain pienen työnnettävän tavaroiden kuljetukseen tarkoitetun kärryn päälle, jolloin käyttäjä pystyi oikeasti työntämään kärryä eteenpäin. Testauksien aikana ja palautteen perusteella, kuitenkin todettiin, että perinteinen ostoskori toimii ympäristössä hieman paremmin, sillä se ei vaadi isoa fyysistä kärryä luodakseen todentuntuisen immersion.



Kuva 4. Käyttäjän näkemä ostoskori, joka piirtyy ohjaimen päälle. (Leppänen, 2020)

Ostoskärrystä ja ostoskorista löytyy molemmista colliderit, jotka toimivat ikään kuin liipaisimina, eli triggerinä. Nämä triggerit tunnistavat mikä esine niihin osuu ja toteuttavat tarvittavat scriptissä määritetyt komennot sen mukaan. Tässä tapauksessa trigger välittää tiedon, mikä tuote siihen osuu ja päivittää ostoslistaa sen mukaan. Tuotteen osuessa triggeriin ostoslistaan päivittyä, montako kappaletta kyseistä tuotetta on laitettu koriin. Peliin on määritetty, että jokaista tuotetta on poimittava kaksi kappaletta. Mikäli käyttäjä on poiminut oikean määrän vaadittuja tuotteita, muuttuu ostoslistan oikein-merkki vihreäksi ja kappaleiden lukumääräksi 2/2. Kun käyttäjä on poiminut kaikki listalla olevat tuotteet, ostoslistan yläpuolella sijaitseva kello pysähtyy ja käyttäjälle ilmoitetaan visuaalisella merkillä, joka on tässä tapauksessa ilotulitus, että tehtävä on suoritettu onnistuneesti.

Pelissä oleviin objekteihin on liitetty scripti mikä mahdollistaa sen, että käyttäjä näkee punaisen ääri- viivan kappaleen ympärillä. Ääriviiva piirtyy kappaleisiin silloin, kun käyttäjä on vienyt ohjaimen tarpeeksi lähelle haluttua kappaletta. Tämä ääriviiva auttaa käyttäjää hahmottamaan milloin hän on vienyt ohjaimen tarpeeksi lähelle kappaletta tarttuakseen siihen. Tämä ominaisuus on suunniteltu käyttäjän pelaamisen helpottamiseksi, sillä ensimmäisiä kertoja pelatessa voi olla hieman hankalaa

hahmottaa miten esineet piirtyvät oikeaan maailmaan ja miten mittasuhteet virtuaalimaailmassa toimivat. Nyt käyttäjän ei tarvitse arvailla milloin esineeseen voi tarttua, vaan hän saa selvän visuaalisen merkin. Ääriiviivan piirtämiseen löytyi Unityn Asset Storesta joitain valmiita ratkaisuita, mutta ne oli tarkoitettu käytettäväksi virtuaalitodellisuuden kanssa. Testeistä ja kokeiluista huolimatta näitä ei saatu toimimaan, vaan koodi oli kirjoitettava itse. Onneksi tähän löytyi netistä hieman apuja, ja niitä soveltamalla koodi saatiin hyvin toimivaksi. Käyttäjän ohjaimissa ja esineissä on molemmissa triggerit, jotka käynnistävät scriptissä määritellyt komennot niiden osuessaan toisiinsa. Scripti tunnistaa kappaleen muodon automaattisesti ja piirtää kappaleen ympärille oikean muotoisen ääriiviivan. Tätä kyseistä scriptiä on käytetty hyväksi kaikissa toteutuksessa tehdyissä peleissä. Alla olevassa kuvassa (Kuva 5) näkyy, kuinka ääriiviivat piirtyvät kappaleen ympärille käyttäjän viedessä ohjaimen tarpeeksi lähelle haluttua esinettä.

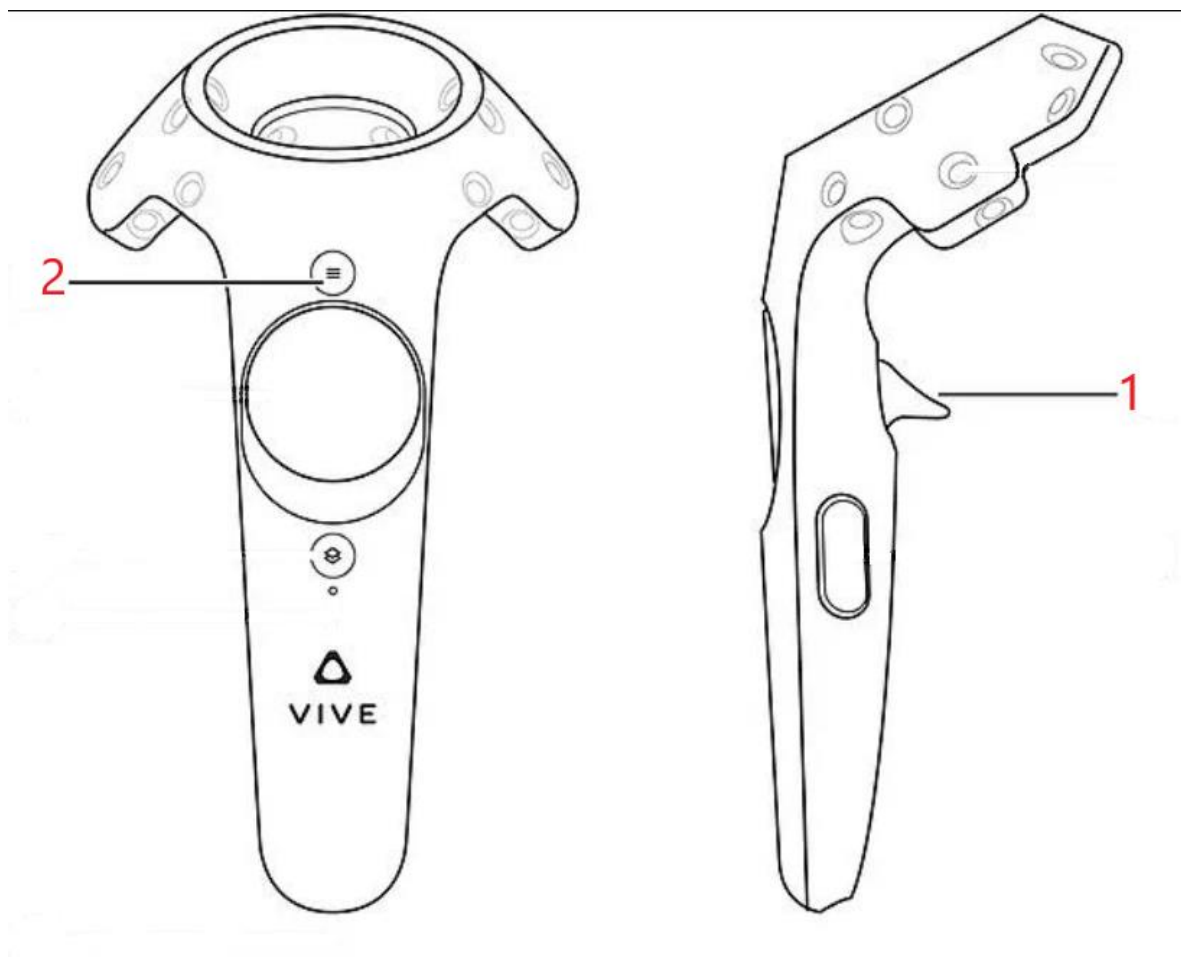


Kuva 5. Ääriviivojen piirtyminen kappaleen ympärille. (Leppänen, 2020)

5.1.1 Ohjaimien toiminta ja käyttäminen

Ohjaimien seuraamiseen käytettiin Varjon tarjoamaa SDK- pakettia, jota muokattiin hieman paremmin projektiin sopivaksi. Tämä helpotti huomattavasti projektin aloittamista, sillä tätä ominaisuutta ei tarvinnut lähteä koodaamaan alusta asti itse vaan pienet muutokset riittivät.

Käyttäjä tarvitsee pelejä pelatessaan vain kahta HTC Vive ohjaimesta löytyvää näppäintä. Ensimmäinen ja ehdottomasti tärkein nappula on ohjaimen takaa löytyvä liipaisin, jota painamalla käyttäjä pystyy tarttumaan pelimaailmassa oleviin esineisiin. Käyttäjän täytyy pitää liipaisinta pohjassa pitäväkseen kiinni esineistä, mikäli käyttäjä haluaa laskea esineen alas, tulee hänen päästää irti liipaisimesta. Seuraavasta nappulasta käyttäjä pystyy avaamaan valikon, josta pystyy vaihtamaan peliä tai aloittamaan pelin uudestaan. Valikko ja sen toimivuus tullaan esittelemään myöhemmässä osiossa. Nappulat ja niiden sijainti on esitelty tarkemmin alla olevassa kuvassa (Kuva 6).

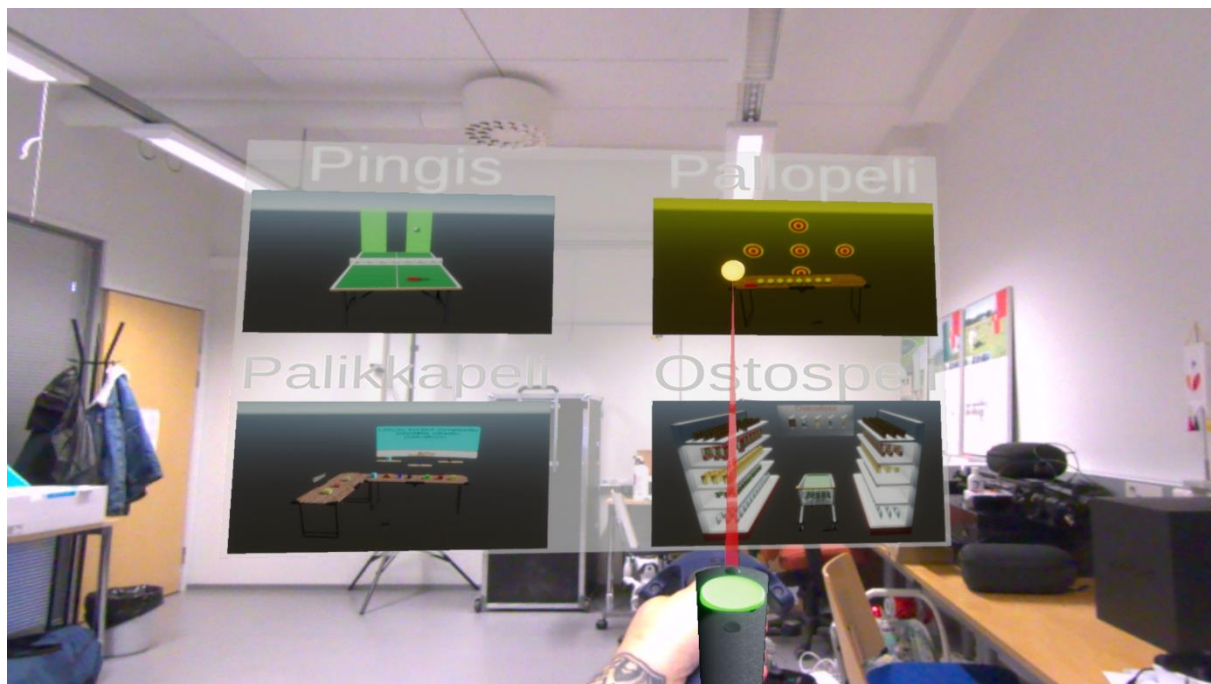


Kuva 6. Peleissä käytettävät nappulat. Liipaisin ja valikko (Leppänen, 2020)

5.2 Valikot ja raycast

Sovelluksen käynnistyessä käyttäjälle avautuu näkymä päävalikkoon. Päävalikosta käyttäjä pystyy valitsemaan mitä peliä hän haluaa pelata. Valikot näytetään käyttäjälle virtuaalilasien läpi hyödyntäen Unityn Canvas-elementtiä. Canvas on Unityn objekti, joka sisältää Canvas-komponentin. Tätä käytetään yleensä apuna, kun tehdään käyttöliittymää ja valikoita peliin. Canvas helpottaa kehittäjän työtä, kun pitää määritellä esimerkiksi valikoiden koko, sijainti ja niihin liittyvät säädöt. Canvas tekee helpoksi esimerkiksi kuvien ja tekstien lisäämisen valikkoon. Päävalikossa on selkeästi kuvien ja tekstien avulla näytetty käyttäjälle valittavat pelit.

Valikon käyttäminen ja valikossa olevien nappuloiden painaminen on toteutettu käyttämällä raycastia. Raycast luo säteen, joka pystyy tarkistamaan, osuuko säde johonkin elementtiin tai objektiin virtuaaliympäristössä. Ohjaimesta lähtee laserisoitin, joka toimii ikään kuin hiirenä, jonka avulla käyttäjä pystyy navigoimaan valikkojen läpi. Valikosta löytyviä nappuloita pystyy painamaan osoittamalla laserilla haluttuun kohtaan ja painamalla ohjaimesta löytyvää liipaisinta. Pelejä valittaessa kuvat toimivat painettavina nappuloina, ja tämä käy parhaiten ilmi tarkastelemalla alla olevaa kuvaa (Kuva 7).



Kuva 7. Päävalikko ja ohjaimesta lähtevä laserosoitin. (Leppänen, 2020)

5.3 Virtuaalisten objektien siirtäminen pelitilassa

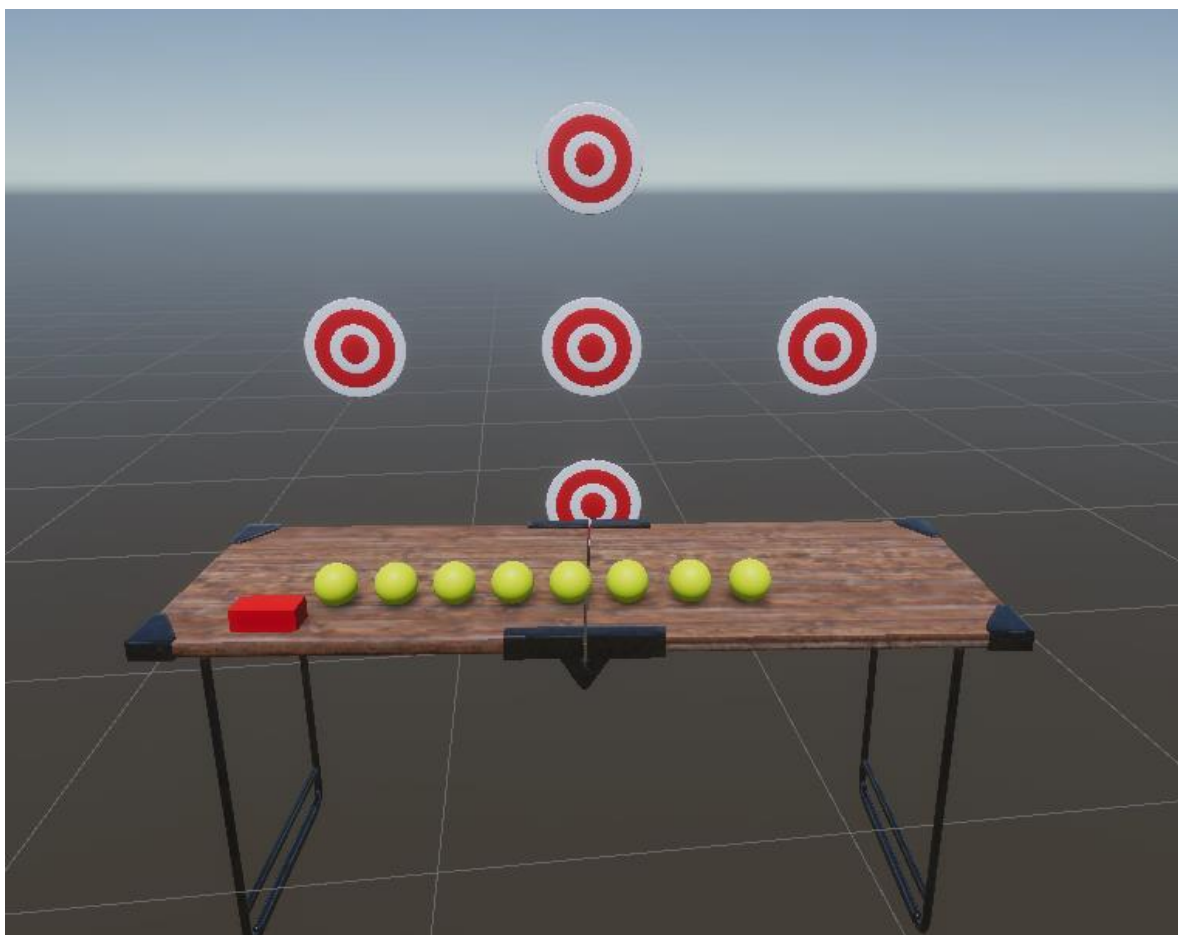
Kaikissa toteutuksessa tehdyissä peleissä löytyy scriptti, jolla virtuaalisia objekteja on mahdollista siirtää paikasta toiseen. Tämä mahdollistaa sen, että pelejä voidaan pelata missä vain tilasta riippumatta, sillä objektit saadaan aina säädettyä pelialueen mukaan oikeaan kohtaan. Objekteja on mahdollista liikuttaa ylös, alas, molemmille sivuille ja niitä on mahdollista pyörittää oman akselinsa ympäri. Tämä on myös loistava ominaisuus, kun ajatellaan esimerkiksi eri pituisia käyttäjiä. Kappaleet saadaan säädettyä juuri sille tasolle, että jokaisen on mukava peliä suorittaa. Kappaleiden reaaliaikainen siirtäminen mahdollistaa myös sen, että pyörätuolissa olevien henkilöiden on mahdollista suorittaa peleissä vaadittuja tehtäviä.

Tämä ominaisuus on toteutettu kirjoittamalla scriptti, joka mahdollistaa kappaleen liikuttamisen pelimaailmassa. Kappaleita on mahdollista liikuttaa ja säätää käyttämällä tietokoneen näppäimistöä löytyviä nuolinäppäimiä. Kyseisen scriptin voi kiinnittää mihin tahansa objektiin, jota täytyy liikuttaa pelin päällä ollessa. Esimerkiksi kauppapelissä kaupan hyllyjä pystytään laskemaan alaspäin, mikäli käyttäjä ei ylety ottamaan tavaroita ylimmältä hyllyltä tai nostamaan ylöspäin, jos käyttäjä ei pääse kurkottamaan alimmalle hyllylle. Jokaiselle käyttäjälle saadaan siis luotua mielekäs ja toimiva pelikokemus.

5.4 Pallopeili AR-ympäristössä

Pallopeilin aloittaessa käyttäjän eteen ilmestyy pöytä, josta löytyy kahdeksan palloa, jotka näkyvät alla olevassa kuvassa (Kuva 8). Näillä palloilla käyttäjän on tarkoitus osua pöydän takana näkyviin maalitauluihin. Pelissä on neljä maalitaulua ja jokaiseen maalitauluun käyttäjän tulee osua kolme kertaa. Kaksi näistä maalitauluista on staattisia, eli ne pysyvät koko ajan paikallaan ja kolme muuta maalitaulua liikkuu ennalta määrättyjä reittejä pitkin. Maalitaulujen liikkumisen nopeutta ja liikkumiseen määritettyjä reittejä pystytään helposti muuttamaan Unityn kautta erilaisiin tilanteisiin ja tarpeisiin sopivaksi.

Kun maalitauluun on osuttu pelin vaatimat kolme heittoa, maalitaulu katoaa näkyvistä. Pöydän vieressä näkyy pistetilanne, kunkin maalitaulun osalta ja pisteet päivittyvät pallon osuessa maalitauluun. Pelaajalle näytetään myös visuaalinen merkki pallon osuessa maalitauluun. Pallo ikään kuin räjähtää osuessaan tauluun ja taulun väri muuttuu. Ensimmäisen osuman sattuessa taulun ulkokehän väri muuttuu vihreäksi, seuraavasta osumasta se muuttuu keltaiseksi ja viimeisellä osumalla maalitaulu katoaa näkyvistä. Mikäli pallot tippuvat pöydältä alas palautuvat ne takaisin pöydälle, pallot palautuvat takaisin myös niiden osuessa maalitauluun. Kun käyttäjä on saanut onnistuneesti kaikki maalitaulut tuhottua, syntyvät ne uudelleen, eli palloja voi heitellä loputtomasti.



Kuva 8. Pallopelin maalitaulut ja heitettävät pallot. (Leppänen, 2020)

Pallojen heittämiseen ja niiden toiminnallisuuteen on käytetty Unityn omaa fysiikkamoottoria ja sen mahdollistamia ominaisuuksia. Pallojen heittäminen tapahtuu käyttäjän viemällä ohjaimen tarpeeksi lähelle palloa, jolloin punainen ääriiviiva ilmestyy pallon ympärille. Tämän jälkeen käyttäjä painaa ohjaimesta löytyvää liipaisinta tarttuakseen palloon. Virtuaalisen pallon heittäminen toimii kaikkein parhaiten, kun sitä heitetään niin kuin oikeaa palloa. Käyttäjän tulee päästää irti ohjaimen liipaisimesta oikealla hetkellä, jotta pallo saa tarvittavan voiman lentääkseen ja osuakseen maalitauluun.

Pallon heittäminen oli aluksi hieman hankalaa sitä testanneille henkilöille, mutta jo muutaman minuutin harjoittelun jälkeen, oikean tekniikan löydyttyä pallot alkoivat osua maalitauluihin. Pallon heittämiseen vaadittava liike on kuitenkin varsin nopea, joten tähän tehtiin hieman säätöjä. Säätöjen avulla mahdollistetaan, että pallon heittämiseen vaadittavan liikkeen ei tarvitse olla niin fyysisesti vaativa, kuin mitä se alkuperäisesti on. Tämän ominaisuuden säätäminen toteutettiin scriptin avulla,

joka muokkaa pelin painovoimaa, joko suuremmaksi tai pienemmäksi riippuen halutaanko heittämistä vaikeuttaa vai helpottaa. Pelin normaali painovoima on 9.81 m/s^2 ja sitä pystytään säätämään asteikko kerrallaan tietokoneen näppäimistöä käyttämällä. Mitä pienempi painovoima on, sitä kevyempi palloja on heittää.

5.5 Palikkapeli AR-ympäristössä

Tässä harjoituksessa käyttäjän tehtävänä on viedä pelimaailmassa näkyvät kappaleet oikeille paikoilleen. Pelin aloittaessa kaikki liikuteltavat esineet näkyvät pelaajan eteen piirtyvällä virtuaalisella pöydällä. Pöydällä on yhteensä kaksitoista erilaista kappaletta. Kahdeksan näistä kappaleista on kuutioita, jotka ovat kaikki erivärisiä ja neljä muuta ovat erilaisia geometrisiä kappaleita.

Pelaajan tulee järjestää kaikki kappaleet oikeille paikoilleen kappaleen muodon ja sen värin mukaan. Paikat joihin kappaleet tulee siirtää, on sijoitettu niin, että liikettä tulee kaikkiin mahdollisiin suuntiin ja saatu hyöty kuntoutuksen kannalta on mahdollisimman suuri. Siirrettävistä kappaleista on pelimaailmaan tehty hologrammit, eli läpinäkyvät versiot varsinaisista kappaleista. Nämä hologrammit merkitsevät sijaintia joihin käyttäjän tulee kappaleet siirtää. Hologrammien ja siirrettävien kappaleiden väliset erot ja ulkoasu näkyvät alla olevassa kuvassa (Kuva 9).



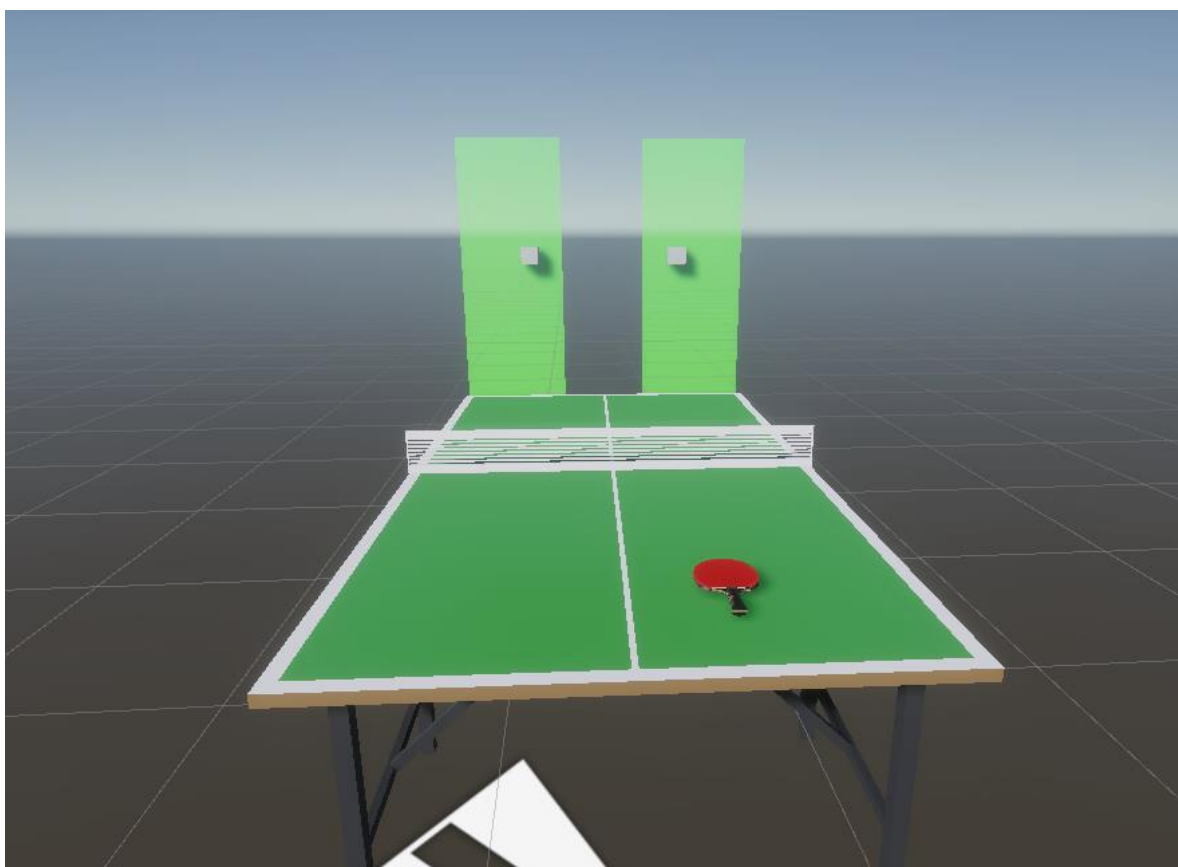
Kuva 9. Näkymä palikkapelistä. Kuvassa näkyvät siirrettävät kappaleet ja niiden hologrammit. (Lepänen, 2020)

Kappaleet toimivat kahden eri periaatteen mukaan. Kuutiot pitää asetella oikealla paikalla tismalleen oikeassa asennossa ja muiden kappaleiden osalta riittää, että kappale koskettaa oikeaa hologrammia. Kuutioiden hologrammeihin on laitettu colliderit niin, että siirrettävä kappale menee paikalleen vain yläkautta laittamalla ja kuution tulee myös olla oikeassa asennossa mennäkseen paikalleen. Tämä tehtiin siksi, että se harjoittaa myös käden pienempiä liikkeitä, kuten ranteen asentoa ja sen liikettä ja liikuttamista. Hologrammikuutiosta tehtiin hieman liikuteltavaa kuutiota isompi, jotta liiku-

teltava kuutio mahtuu hologrammin sisään. Loput liikuteltavat kappaleet napsahtavat oikeille paikoilleen, kun ne viedään tarpeeksi lähelle hologrammia. Käyttäjän viedessä kappaleen oikealle paikalle ilmoitetaan siitä tekstillä, jossa lukee oikein, mikäli kappale menee väärään kohtaan, ilmestyy käyttäjän näkyville teksti, jossa lukee väärin.

5.6 Pöytätennis AR-ympäristössä

Neljäntenä pelinä toteutuksesta löytyy pingis, joka on erinomainen tapa harjoittaa käden motoriikkaa sekä silmä-käsi koordinaatiota. Pelin aloittaessa käyttäjän eteen ilmestyy realistisen näköinen pingispöytä, joka näkyy alla olevassa kuvassa (Kuva 10). Pöydän päältä löytyy pingismaila, jonka käyttäjän tulee ottaa käteensä käyttämällä HTC Vive -ohjainta. Mailaan tarttuminen tapahtuu samalla periaatteella, kuin muissakin toteutuksessa tehdyissä peleissä, eli painamalla ohjaimesta löytyvää liipaisinta pohjassa, mikäli mailaan halutaan tarttua. Pöydän toisesta päästä löytyy kaksi vihreän väristä aluetta. Nämä alueet edustavat maaleja joihin pelaajan tulee osua pallolla. Kun pelaaja saa onnistuneesti palautettua syötön ja osuttua pallolla maaliin muuttuu maalin väri hetkellisesti punaiseksi ja pingispöydän verkon yläpuolella oleva pistetilanne päivittyy. Maalialueista löytyy siis scriptti, joka tunnistaa, kun pingispallo osuu niihin, jonka jälkeen scriptti suorittaa komennon, joka hetkellisesti vaihtaa maalin värin punaiseksi, sekä päivittää osumien määrän pistetaulukkoon. Maalitalulun värin vaihtaminen tehtiin siksi, että pelaajalle välittyi selkeä visuaalinen viesti siitä, että hän on osunut oikeaan kohtaan.



Kuva 10. Näkymä pöytätenniksessä. Kuvassa näkyy pöytä, maila ja maalit joihin pelaajan tulee osua pallolla. (Leppänen, 2020)

Molempiin maalialueisiin on kiinnitetty peliobjekti, joka syöttää palloja pelaajaa kohti. Objekteihin on kirjoitettu scripti, joka arpoo satunnaisen ajan kahden ja viiden sekunnin väliltä ja ampuu pallon pelaajaa kohti, kun tämä aika täyttyy. Pallot eivät siis tule tasaisena virtana pelaajaa kohti, vaan pallon syntymisessä on variaatiota, joten pelaajan pitää olla koko ajan valmiina lyömään pallot takaisin maaliin. Kun scriptissä arvottu aikamääre täyttyy, luo scripti ennalta määrätyn prefabin pohjalta pingispallon ja ampuu sen scriptissä määrättyllä nopeudella pelaajaa kohti. Molemmat objektit ampuvat pelaajaa kohti vuoron perään kaksi palloa. Scripti laskee ammutut pallot ja tämän pohjalta piilottaa aina toisen objektin näkyvistä, joten palloja ei tule yhtä aikaa molemmilta puolilta. Mikäli pelaaja ei osu palloon tai pallo menee ohi, ylimääräiset pingispallot häviävät tietyn ajan kuluttua, jotta ne eivät ole pelaajan tiellä, vaan peli voi jatkua normaalisti ilman turhia esteitä.

Sekä mailasta, että pingispöydästä löytyy colliderit, jotka tunnistavat toisensa. Tämän avulla saatiin toteutettua ominaisuus, joka tarkistaa onko maila pöydällä vai pelaajan kädessä. Mikäli maila on pöydällä peli ei käynnisty eikä palloja syötetä pelaajaa kohti. Peli alkaa, kun käyttäjä poimii mailan käteensä. Tämän avulla vältytään siltä, että palloja ei syötetä liian aikaisin ja pelikokemus kärsi. Mailaan on myös liitetty ominaisuus, joka palauttaa mailan takaisin pöydälle, mikäli se pääsee tippumaan käyttäjän kädestä maahan. Scripti siis tarkkailee mailan sijaintia ja mailan sijainnin ollessa y-asteikolla vähemmän kuin -10 palaa maila alkuperäiseen paikkaansa pingispöydälle. Mailaan ja pingispalloon on laitettu RigidBody, joka huolehtii siitä, että objektit pystyvät hyödyntämään Unityn fysiikkamoottorin ominaisuuksia. Yksi käytössä oleva fysiikkamoottorin ominaisuus on Physical Material, jonka avulla kappaleisiin saadaan todentuntuisia kitka ja pomppimisefektejä. Pingispalloon ja mailaan saadaan siis toteutettua realistisen tuntuinen pomppiminen ja kimmoisuus, joka luo käyttäjälleen paremman pelikokemuksen.

6 JATKOKEHITYS JA YHTEENVETO

Opinnäytetyön tekemiseen on aina rajallinen määrä aikaa mikä tarkoittaa sitä, että valitettavasti kaikkia mahdollisia ominaisuuksia ja asioita ei saada välttämättä tehtyä. Lisätyn todellisuuden ympäristö ja sen tarjoamat mahdollisuudet ovat niin laajat, että kehitettävää ja lisättävää löytyy rajattomasti lisää, minkä takia opinnäytetyössä syntyneitä toteutusta on helppo lähteä jatkokehittämään eteenpäin. Teknisissä toteutuksissa on aina mahdollisuuksia parantaa joitain asioita, eikä ohjelmistot ole ikinä täysin valmiita, vaan uusia ideoita ja vanhojen asioiden korjaamista löytyy aina.

6.1 Toiminnallisuus

Toiminnallisia osioita on aina mahdollista parantaa ja muokata paremmin toimiviksi ja tämän opinnäytetyön osalta varsinkin pöytätenniksessä parantamisen varaa on kaikkein eniten. Pöytätennistä tehdessä ilmaantui huomattavasti eniten ongelmia, vaikkakin osa niistä saatiin ratkaistua, jäi jatkokehittämiselle vielä tilaa. Yksi suurimmista ongelmista on käyttäjän tarttuminen pelaamisessa käytävään pingismailaan. Pingismailan kanssa yritettiin soveltaa samaa periaatetta ja scriptiä, joka on käytössä kauppapelin ostoskorissa, eli ostoskori seuraa tarkasti pelaajan kädessä olevan ohjaimen sijaintia. Tässä kuitenkin ilmeni huomattavan paljon ongelmia. Kun maila oli scriptiä avuksi käyttämällä kiinnitetty ohjaimen, menivät pelissä käytetyt pingispallot suoraan mailan lävitse, joten pelaaminen ei onnistunut lainkaan. Ongelman olisi pitänyt ratketa laittamalla mailassa olevasta rigidbodystä päälle asetus, joka estää nopeasti liikkuvien kappaleiden läpimenemisen. Tämä ei kuitenkaan toiminut ja seuraavaksi tarkasteltiin ja muutettiin kyseistä scriptiä, mutta ominaisuutta ei saatu toimimaan halutulla tavalla. Tällä hetkellä pelaajan siis täytyy pitää pingismailasta kiinni, kuten muistakin objekteista, eli painamalla ohjaimesta löytyvää liipaisinta.

Pingispallojen lyömisessä mailalla on myös ongelma, joka vaatii korjaamista. Lyötäessä mailalla palloa saattaa maila sekä pallo jäädä jumiin koskettaessaan toisiaan. Tämän ongelman arveltiin ensiksi johtuvan mailan ja pallojen välisistä collidereista ja rigidbodyistä. Ongelmaa lähdettiin selvittämään tekemällä kappaleiden massoihin muutoksia. Ensimmäisenä pallon massaa vähennettiin huomattavasti ja mailan massaa nostettiin suuremmaksi. Kappaleiden massojen muokkaamisella ei saatu ongelmaa ratkaistua. Myös kappaleiden collidereihin tehtiin lukuisia eri muutoksia ja testauksia, mutta haluttua tulosta ei saavutettu. Viimeisenä vaihtoehtona rajoitettiin pallon nopeutta pelaajan lyödessä sitä mailalla ja tämä korjasi ongelman ainakin osittain eikä pallo ja maila jääneet enää jumiin niin usein. Ongelmaan täytyy kuitenkin mahdollisessa jatkokehityksessä saada parempi ratkaisu.

6.2 Graafinen ulkoasu

Toiminnallisuuksien kehittämisen lisäksi graafisille kehitysmahdollisuuksille jää huomattavasti tilaa, sillä työssä ei ollut mukana yhtään henkilöä, jolla olisi kokemusta tehdä esimerkiksi visuaalisesti näyttäviä 3D-malleja sekä käyttöliittymiä ja valikoita. Käyttöliittymän ulkoasussa on jatkokehittämisen mahdollisuuksia, jotta siitä saisi visuaalisesti näyttävämmän näköisen. Valikon visuaalinen ilme ei ollut työtä tehdessä kovinkaan suuri prioriteetti ja se näkyy valikkojen ulkoasusta. Toteutuksessa käytetyt 3D-mallit ja kappaleet ovat kaikki ladattuja Unityn omasta Asset storesta tai sketchfab sivustolta, josta pystyy lataamaan ilmaisia tai maksullisia 3D-malleja. Mallit ovat myös kaikki ilmaisversioita, joten työssä jouduttiin tyytymään siihen mitä oli ilmaiseksi saatavilla. Mikäli mukana olisi ollut

3D-mallinnusta taitava henkilö, olisi kappaleista saanut huomattavasti monipuolisempia ja ne olisi saatu tehtyä juuri halutunlaisiksi ilman kompromisseja. Esimerkiksi kauppapelissä käytettyjen ostosten 3D-mallit olisivat voineet olla huomattavasti monipuolisempia ja visuaalisesti hienomman näköisiä, jotta Varjon XR-1 lasien kuvanlaadusta olisi saatu mahdollisimman paljon irti.

6.3 Jatkokehitys kuntoutukseen

Mikäli toteutuksessa kehitettyjä pelejä olisi mahdollista hyödyntää oikeassa kuntoutuksessa kuntoutusvälineenä tulisi jatkokehitystä ajatellen saada mukaan jokin taho keneltä löytyy asiantuntemusta ja kokemusta kyseisten kuntoutuksien ja käytettävien harjoitusten saralta. Tämän pohjalta kuntoutuksia voidaan lähteä kehittämään ja muokkaamaan sellaiseen suuntaan, että niitä on mahdollista ottaa käyttöön osana varsinaista kuntoutusprosessia. Pelien testaaminen kuntoutuksessa olevilla henkilöillä on myös erittäin tärkeä osa jatkokehitystä, koska loppukäyttäjien kommentit ja ehdotukset ovat ehdottomasti tärkeintä palautetta mitä kehittäjä voi saada. Pelien kehitysvaiheessa eräs kuntoutuksessa oleva henkilö testasi pelejä ja häneltä saatujen kommenttien ja mielteiden perusteella peleihin tehtiin muutoksia, jotka vaikuttavat suoraan loppukäyttäjän kokemukseen positiivisesti. Mikäli pelejä lähdetään kehittämään kaupalliseksi ja oikeassa kuntoutuksessa käytettäväksi on kehitystiimiin saatava mukaan usean eri alan ammattilaisia, jotta lopullinen tuote on viimeistelty ja täyttää kaikki terveydenhuollon vaatimukset ja standardit.

Kuntoutusta ajatellen peleihin pitäisi tehdä lisäominaisuutena taustajärjestelmä, jolla kuntoutuksen järjestäjä tai lääkäri pystyy tarkastelemaan pelaajan saamia tuloksia ja analysoimaan niitä. Jokaisella potilaalla olisi siis oma taulukkonsa ja profiilinsa, josta pystytään tarkastelemaan kuntoutuksen etenemistä ja pelien avulla saavutettuja hyötyjä. Tämä voitaisiin toteuttaa esimerkiksi hyödyntämällä Cognitive3D-sovellusta, jonka kautta pystytään keräämään dataa pelaajan suorittamista toiminnoista. Sovelluksen avulla pystytään esimerkiksi luomaan tehtäviä ja seuraamaan, kuinka monta tehtävää pelaaja saa oikein ja missä ajassa. Sovelluksen kautta pystytään myös seuraamaan käyttäjän liikkumista, seuraamaan minne käyttäjä kohdistaa katseensa, sykettä ja lukuisia muita arvoja, mikäli käytössä on vaadittavat sensorit.

Opinnäytetyön aikana testattiin Leap motion -liikkeentunnistinta, jonka avulla on mahdollista toteuttaa sovellus, jossa ei tarvitse perinteisiä ohjaimia, vaan esineisiin tarttuminen ja kaikki interaktiivisuus tapahtuu käyttämällä pelaajan omia käsiä. Laite siis tunnistaa pelaajan kätet ja tämän seurauksena pelaaja pystyy tarttumaan virtuaalisiin esineisiin omia käsiään käyttäen. Tämä laite toisi huomattavasti lisää immersiota peleihin ja myös osaltaan helpottaisi pelien suorittamista, kun ylimääräiset ohjaimet jäisivät pois. Laitteelle tehtiin 3D-tulostimella kotelo ja se kiinnitettiin Varjon XR-1 -laseihin kiinni, jotta laitteessa olevat kamerat näkevät koko ajan pelaajan kätet. Ajatuksen tasolla tämä vaikuttaa erittäin hyvältä ratkaisulta, mutta valitettavasti käytännön testaamisen kautta ilmeni huomattavasti ongelmia. Ensimmäiseksi tulisi ratkaista, kuinka laite saadaan pysymään täysin paikallaan XR-1-laseissa kiinni, sillä pienikin liike vaikuttaa lopputulokseen negatiivisesti. Testaushetkellä laitteen koteloon, sekä Varjon XR-1 laseihin oli kiinnitetty tarranauhat, joiden avulla Leap Motion saatiin kiinnitettyä laseihin. Tarranauhalla kiinnittäminen ei kuitenkaan pitänyt laitetta täysin paikallaan, vaan nopeat pään liikkeet saattoivat liikuttaa laitetta, joka aiheutti sen, että käsien tunnistamisessa ilmeni ongelmia. Tarranauha tulisi korvata esimerkiksi vahvalla kaksipuoleisella teipillä, jotta

laite pysyisi täysin paikallaan pelaajan liikuessa. Ongelmaksi muodostui myös laitteen tarkkuus ja kyky tunnistaa kädet. Käsien tunnistus saattoi välillä katketa täysin mikä vaikuttaa huomattavasti pelikokemukseen ja aiheuttaa turhautumista. Jatkokehityksen kannalta tässä on erittäin paljon potentiaalia ja mahdollisuuksia luoda vieläkin koukuttavampi ja aidomman tuntuinen kokemus hyödyntäen käsien tunnistamista ja niiden käyttämistä perinteisten ohjaimien sijaan.

6.4 Yhteenveto

Projektin toteutus onnistui hyvin, ottaen huomioon, että pelit ja kaikki sisältö toteutettiin yhden henkilön voimin. Mikäli tiimissä olisi ollut alusta alkaen mukana eri alojen ammattilaisia, kuten graafikko tai 3D-mallintaja sekä terveydenhuollon ammattilainen, olisi toteutuksesta saatu tehtyä vielä parempi ja viimeistellympi. Onneksi projektin edetessä terveydenhuollon ammattilaisilta saatiin kuitenkin hieman kommentteja ja kehitysideoita, joita hyödynnettiin ja lisättiin toteutukseen. Sovellusta päästiin myös testaamaan kuntoutuksessa olevalla henkilöllä, joka toi huomattavasti lisäarvoa kehitystyöhön ja sen etenemiseen. Sovellusta päästiin testaamaan hyvinkin usean henkilön toimesta ja palaute oli pääosin erittäin hyvää. Jatkokehityksen kannalta sovelluksen pariin tulisi ehdottomasti saada monialaista osaamista, jotta se saataisiin viimeistelyä ja otettua oikeaan käyttöön.

Projektin aikana tuli opittua erittäin paljon uusia ja mielenkiintoisia asioita. Koko projekti olikin yksi iso oppimisprosessi, sillä käytetty teknologia on erittäin uutta, eikä kenelläkään työpaikalla ollut siitä aikaisempaa kokemusta, joten kaikki vaadittavat asiat tuli opetella erehdyksien ja onnistumisien kautta. Onneksi netistä löytyi apua ja materiaalia, jonka avulla projektissa päästiin alkuvaikeuksien jälkeen eteenpäin. Projekti ja sen aihe olivat erittäin mielenkiintoisia ja uraauurtavia, sillä vastaavanlaisia toteutuksia lisätyn todellisuuden puolelle ei juurikaan ole. Projekti oli tärkeä myös sen takia, että nähtiin minkälaisia ratkaisuita uudella teknologialla, on mahdollista saavuttaa.

7 LÄHTEET

- AccuVein Inc. (2019). *AccuVein -laite*. Haettu 18. 11. 2020 osoitteesta [accuvein.com](https://www.accuvein.com/):
<https://www.accuvein.com/why-accuvein/ar/>
- Best, J. (5. 1. 2016). *Lisätyn todellisuuden käyttäminen leikkauksessa*. Haettu 15. 11. 2020 osoitteesta [zdnet.com](https://www.zdnet.com/):
<https://www.zdnet.com/article/the-doctor-can-see-you-now-the-surgeons-using-google-glass-in-the-operating-theatre/>
- Cognitive3D. (2020). *Cognitive3D -sovellus*. Haettu 11. 10. 2020 osoitteesta cognitive3d.com:
<https://cognitive3d.com/why-cognitive3d/>
- FiCom. (23. 9. 2020). *Lisätty todellisuus ja virtuaalitodellisuus*. Haettu 10. 10. 2020 osoitteesta [fiCom.fi](https://www.ficom.fi/):
<https://www.ficom.fi/ict-ala/tilastot/lis%C3%A4tty-todellisuus-ja-virtuaali-todellisuus>
- Hotjar. (30. 7 2020). *Heatmap*. Haettu 8. 10. 2020 osoitteesta [hotjar.com](https://www.hotjar.com/): <https://www.hotjar.com/heatmaps/>
- iMotions. (25. 2. 2020). *Galvanic-skin-response*. Haettu 11. 11. 2020 osoitteesta
<https://imotions.com/blog/galvanic-skin-response/>
- Jensen, P. (24. 4. 2018). *Lisätty todellisuus puhelimessa*. Haettu 10. 10. 2020 osoitteesta kotimikro.fi:
<https://kotimikro.fi/yhteiskunta/uusi-tekniikka/mita-on-lisatty-todellisuus>
- Kamenetsky, O. (14. 9 2020). *SDK*. Haettu 20. 11. 2020 osoitteesta [skyhook.com](https://www.skyhook.com/):
<https://www.skyhook.com/blog/what-is-an-sdk-and-an-api>
- loopyllama. (16. 4 2011). *Trigger*. Haettu 18. 10. 2020 osoitteesta answers.unity.com:
<https://answers.unity.com/questions/58658/what-is-trigger-and-the-uses-scripting.html>
- Madison, D. (2018). *Lisätyn todellisuuden sovellukset terveydenhuollossa*. Haettu 13. 10. 2020 osoitteesta healthmanagement.org: <https://healthmanagement.org/c/healthmanagement/issuearticle/the-future-of-augmented-reality-in-healthcare>
- MedCognition. (14. 2. 2019). *Augmented Healthcare: How Augmented Reality is Shaping Medicine*. Haettu 11. 10. 2020 osoitteesta medium.com: <https://medium.com/@MedCognition/augmented-healthcare-how-augmented-reality-is-shaping-medicine-b9a85c5c27cf>
- Munkh-Uchral Erdenebat, Y.-T. L.-C. (26. 12. 2017). *Waveguide-Type Head-Mounted Display System for AR Application*. Haettu 10. 10. 2020 osoitteesta [intechopen.com](https://www.intechopen.com/): <https://www.intechopen.com/books/state-of-the-art-virtual-reality-and-augmented-reality-knowhow/waveguide-type-head-mounted-display-system-for-ar-application>
- Savonia. (1. 12. 2017). *Projektin kuvaus*. (Savonia-ammattikorkeakoulu) Haettu 1. 10. 2020 osoitteesta portal.savonia.fi: <https://portal.savonia.fi/amk/fi/tutkimus-ja-kehittaminen/projekti-ja-hanketoiminta/projektit-ja-hankkeet?id=964>
- Sosna, A. (12. 9. 2019). *Lisätty todellisuus terveydenhuollossa*. Haettu 10. 11. 2020 osoitteesta [Medcity News](https://medcitynews.com/):
<https://medcitynews.com/2019/09/the-benefits-of-ar-in-healthcare/>

- Sosna, A. (12. 9. 2019). *Lisätyn todellisuuden ja virtuaalitodellisuuden erot*. Haettu 11. 10. 2020 osoitteesta MedCity News: <https://medcitynews.com/2019/09/the-benefits-of-ar-in-healthcare/>
- TechLifeSport. (28. 2. 2018). *Lisätyn todellisuuden toteuttaminen*. Haettu 11. 10. 2020 osoitteesta techlifespports.com: <http://techlifespports.com/fi/lisatty-todellisuus-ar-kuinka-sita-voi-kayttaa-ja-miten-se-toimii/>
- TEPA-termipankki. (14. 12 2001). Haettu 24. 10. 2020 osoitteesta termipankki.fi: <https://termipankki.fi/tepa/fi/haku/skripti>
- The Medical Futurist. (14. 11. 2019). *Defibrillaattorin etsiminen lisättyä todellisuutta hyödyntämällä*. Haettu 24. 11. 2020 osoitteesta medicalfuturist.com: <https://medicalfuturist.com/augmented-reality-in-healthcare-will-be-revolutionary/>
- Unity. (2020). Haettu 10. 10. 2020 osoitteesta unity.com: <https://unity.com/products/unity-platform>
- Unity Technologies. (10. 12 2018). *Rigidbody*. Haettu 18. 10. 2020 osoitteesta docs.unity3d.com: <https://docs.unity3d.com/Manual/class-Rigidbody.html>
- Unity Technologies. (13. 10. 2020). *Prefab*. Haettu 12. 11. 2020 osoitteesta docs.unity3d.com: <https://docs.unity3d.com/Manual/Prefabs.html>
- Unity Technologies. (13. 10 2020). *Raycast*. Haettu 19. 11. 2020 osoitteesta docs.unity3d.com: <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/Physics.Raycast.html>
- Unity Technologies. (27. 10. 2020). *Unity -pelimoottori*. Haettu 10. 10. 2020 osoitteesta docs.unity3d.com: <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>
- Varjo. (2020). *XR-1 lasit*. Haettu 10. 10. 2020 osoitteesta varjo.com: <https://varjo.com/products/xr-1/>
- Varjo Technologies. (2020). *XR-1 lasien laitevaatimukset*. Haettu 10. 10. 2020 osoitteesta varjo.com: <https://varjo.com/products/xr-1/>
- Varjo Technologies. (2020). *XR-1 ominaisuudet*. Haettu 10. 10. 2020 osoitteesta varjo.com: <https://varjo.com/blog/introducing-a-dimensional-interface-varjo-workspace/>
- W3Schools. (2020). *C# -ohjelmointikieli*. Haettu 10. 10. 2020 osoitteesta w3schools.com: https://www.w3schools.com/cs/cs_intro.asp