

Mika Jäntti

Vuorovaikutteinen oppimisympäristö kielten opiskeluun

Opinnäytetyö

Kevät 2019

SeAMK Tekniikka

Tietotekniikan tutkinto-ohjelma

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Tietotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Ohjelmistotekniikka

Tekijä: Mika Jännti

Työn nimi: Vuorovaikutteinen oppimisympäristö kielten opiskeluun

Ohjaaja: Tapio Hellman

Vuosi: 2019

Sivumäärä: 36

Opinnäytetyö toteutettiin Valakia Interactive Osakeyhtiölle. Valakia on Seinäjoella sijaitseva yritys, jonka palveluihin kuuluu muun muassa graafinen suunnittelu, 3D-sovellukset, virtuaalitodellisuus ja lisätty todellisuus.

Tässä opinnäytetyössä tutustutaan lisättyyn todellisuuteen. Työn tavoitteena on toteuttaa vuorovaikutteinen oppimisympäristösovellus kielten opiskeluun lisätyn todellisuuden avulla. Työn tekniset tavoitteet ovat kielivalinta, teemojen lataus pilvipalvelimelta ja suoritettujen teemojen seuranta. Valmiin sovelluksen kohdeyleisö on varhaiskasvatus.

Opinnäytetyö koostuu teoriaosuudesta sekä käytännön osuudesta. Teoriaosuuksessa käsitellään lisätyn todellisuuden toiminnallisuutta, historiaa, käyttömahdollisuuksia ja tulevaisuutta. Siinä käydään läpi myös työssä käytetyt tekniikat, ohjelmistot ja laitteet. Työn käytännön osuudessa esitellään työn tekemisen vaiheet ja toteutettu sovellus.

Lopputuloksena syntyi toimiva ja vuorovaikutteinen oppimisympäristö. Käyttäjä voi oppia sovelluksen avulla kolmea eri kieltä.

Avainsanat: Lisätty todellisuus, AR, mobiilisovellus, AR Foundation, Unity

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Information Technology

Specialisation: Software Engineering

Author: Mika Jäntti

Title of thesis: Interactive Learning Environment for Language Learning

Supervisor: Tapio Hellman

Year: 2019

Number of pages: 36

The commissioner of this thesis was Valakia Interactive Oy. Valakia is a company located in Seinäjoki. The company's services are, among other things, graphic design, 3D applications, virtual reality and augmented reality.

This thesis explored augmented reality. The goal was to create an interactive environment application for language learning using augmented reality. The technical objectives of the thesis were to offer a wide language selection, possibility to download themes from a cloud server and follow-up of the themes. The target audience of the finished application is in the field of early childhood education.

The thesis was divided into a theoretical part and a practical part. The theoretical part studied the functionality, history, use and future of augmented reality. It also covered the techniques, software and equipment used in the practical part. The practical part of the work concentrated on the stages of the work and the application itself.

The result of this thesis was a functional and interactive learning environment. The user can study three different languages with the application.

Keywords: augmented reality, AR, mobile application, AR Foundation, Unity

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ.....	3
Kuvaluettelo	5
Käytetyt termit ja lyhenteet	6
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn tausta	9
1.2 Työn tavoite	9
1.3 Työn rakenne	10
1.4 Yritysesittely	10
2 LISÄTTY TODELLISUUS.....	11
2.1 Mitä on lisätty todellisuus?	11
2.2 Historia.....	12
2.3 Toimintaperiaate	14
2.3.1 Paikkaperusteinen tunnistus	14
2.3.2 Markkeripohjainen tunnistus	14
2.4 Käyttömahdollisuudet.....	15
2.4.1 Opetuskäyttö.....	15
2.4.2 Korjaus ja ylläpito.....	16
2.4.3 Markkinointi.....	16
2.5 Tulevaisuus.....	17
3 TEKNIIKAT, OHJELMISTOT JA LAITTEET	18
3.1 AR Foundation	18
3.2 ARCore	18
3.3 ARKit.....	18
3.4 Unity.....	18
3.5 Blender.....	19
3.6 Työssä käytetty AR-laite	19
4 TYÖVAIHE.....	21
4.1 3D-ympäristön ja -mallien toteutus.....	21

4.2 AR-tekniikan lisääminen.....	22
4.3 Sovelluksen käyttöliittymä ja logiikka	24
4.4 Peliosuuden vuorovaikutteiset objektit	28
5 YHTEENVETO JA POHDINTA	32
LÄHTEET	34

Kuvaluettelo

Kuva 1. Hävittäjälentäjän ilmoitusnäyttö.	11
Kuva 2. Lisätyn todellisuuden apujärjestelmä lentokoneen osien rakentamiseen.	12
Kuva 3. ARQuake-peli.	13
Kuva 4. Shakkia lisätystä todellisuudesta.....	13
Kuva 5. Markkeripohjainen tunnistus.	15
Kuva 6. Lasertulostimen ylläpitosovellus.	16
Kuva 7. Minin lisätyn todellisuuden mainos.	17
Kuva 8. Lisätyn todellisuuden piilolinssit.	17
Kuva 9. Renderöity ja rautalankatilassa oleva kirjan 3D-malli Blenderissä.	21
Kuva 10. Unity-projektin scenessä oleva objekti, jolla on Unlit-materiaali.	22
Kuva 11. Pintojen reaaliaikainen skannaus.	23
Kuva 12. Käyttäjän asettama huone.	24
Kuva 13. Sovelluksen tämänhetkinen päävalikko.	25
Kuva 14. Teemavalintanäkymä ja sen listan sisällä olevat teemat.....	26
Kuva 15. Kielivalintanäkymä ja sen listan sisällä olevat kielet.	26
Kuva 16. Sovelluksen peliosuutta edeltävät ohjenäkymät.	27
Kuva 17. Pelinaikainen näkymä kielen ollessa englanti.	27
Kuva 18. Pelin lopussa näytettävä voittonäkymä.	28
Kuva 19. Huonekalu-prefabin rakenne.....	30
Kuva 20. ObjectMove-animaatio objektin tekstille.....	31

Käytetyt termit ja lyhenteet

2D-elementti	Canvas-objektin sisällä oleva kaksiulotteinen käyttöliittymäelementti, kuten teksti, paneeli, kuva, video tai painike.
Animator Controller	Unityn tilakone, joka määrittelee, mitä animaatioita kullakin hetkellä suoritetaan.
AR	Augmented Reality, lisätty todellisuus.
Blender	3D-grafiikkaohjelmisto, jolla voidaan luoda muun muassa 3D-malleja.
Buildaaminen	Pelin tai muun sovelluksen rakentaminen ajettavaksi ohjelmaksi.
C#	Unity-pelimootorissa käytetty ohjelmointikieli.
Canvas	Unityn peliobjekti, johon luodaan pelin tai muun sovelluksen 2D-käyttöliittymä. Kaikki käyttöliittymäelementit ovat sen lapsiobjekteja.
Child-objekti	Lapsiobjekti, joka on objektihierarkiassa vanhempi-objektin alapuolella.
Collider	Unityn komponentti, joka määrittää objektille törmäysominaisuudet.
FBX	Eräs 3D-mallien tallennuksessa ja siirrossa käytetty tiedostotyyppi.
Grid Layout Group	Komponentti, joka asettaa sen sisällä olevat 2D-elementit listamaiseen järjestykseen.
Headset	Päähän asetettava laite, joka tuottaa informaatiota käyttäjän näkökenttään ja mahdollisesti myös ääntä käyttäjän kuultavaksi.

JSON	Yksinkertainen avoimen standardin tiedostomuoto tiedonvälitykseen (JavaScript Object Notation).
Objekti	Virtuaalimaailmassa oleva asia tai esine.
Parent-objekti	Hierarkkinen vanhempi-objekti, joka pitää sisällään lapsiobjekteja.
Polygoni	Tietokonegrafiikassa vähintään kolmesta pisteestä koostuva pinta. Polygonilukumäärällä voidaan määritellä 3D-mallin koko.
Prefab	Monistettava luonnos yhdestä tai useammasta objektista. Prefab-tiedostoa muokatessa muutos välittyy myös sceneissä oleviin prefabeihin.
Primitiivi	Valmis, yksinkertainen ja parametrinen 3D-malli, kuten kuutio, sylinteri tai pallo.
Renderöiminen	Prosessi, jossa 3D-näkymästä luodaan 2D-kuva tai -video.
Scene	Unity-projektissa oleva 3D-tapahtumanäyttämö, joka sisältää objekteja.
Skripti	Ohjelmointikielinen koodikatkelma, jolla luodaan pelin tai muun sovelluksen logiikka.
Trigger	Yksi Animator Controllerin laukaisuehto, joka voidaan asettaa animaatioiden käynnistykseen, lopetukseen ja niiden väliseen siirtymiseen.
Unity	Pelimoottori, jota voidaan käyttää muun muassa lisätyn todellisuuden luomiseen.
Unlit	Materiaalin shader-tyyppi, joka ei ole vaikutuksessa valon kanssa, vaan värjää ainoastaan objektin pinnat halutun värisiksi.
VR	Virtual Reality, virtuaalitodellisuus.

Älylasit

Kasvoille asetettava laite, joka tuottaa informaatiota käyttäjän näkökenttään.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Augmented reality eli lisätty todellisuus on kasvavassa suosiossa kaikilla sen eri aloilla. Nykyisin lisättyä todellisuutta käytetään muun muassa teollisuudessa, opetuskäytössä, lääketieteessä, arkkitehtuurissa, peleissä ja markkinoinnissa.

Tässä opinnäytetyössä tehdään lisätyn todellisuuden sovellus. Sovellus on suunnattu varhaiskasvatukselle ja sen toimeksiantaja on Valakia Interactive Oy. Sen 3D-mallit luodaan Blenderin 3D-grafiikkaohjelmistolla ja itse sovellus Unity-pelimootorilla. Lisätyn todellisuuden tekniikkana käytetään AR Foundation -paketin tarjoamia ratkaisuja.

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena on toteuttaa virtuaaliympäristössä toimiva vuorovaikutteinen oppimisympäristö kielten opiskeluun. Oppimisympäristöksi luodaan lisätyn todellisuuden kautta toimiva maailma. Maailmalla on teemoittain erilaisia objekteja, joilla on omat toimintonsa.

Työ on sovellus, joka tehdään lisätyn todellisuuden tekniikkaa tukeville mobiililaitteille eli älypuhelimille ja tableteille. Sovelluksessa käytetään laitteen kameraa, jolla tunnistetaan oikean maailman tasaisia pintoja, kuten lattiaa ja seiniä. Sovellus on tarkoitettu käytettäväksi tyhjässä huoneessa, jolloin sen toimivuus on parhaimmillaan. Virtuaalinen huone on tehty täysin saman kokoiseksi kuin huone, jossa sovellusta aiotaan käyttää. Todellisen huoneen koko on siis mitattu, jonka jälkeen siitä on luotu 3D-malli käyttäen todellisen huoneen mittoja. Sovelluksen käyttäjä valitsee listasta haluamansa teeman sekä kielen ja asettaa virtuaalisen huoneen todellisen huoneen sisään. Huoneen mukana tulee käyttäjän valitseman teeman mukaisia objekteja, joiden kanssa hän voi olla vuorovaikutuksessa. Kielivalinta vaihtaa objektien nimet ja niistä toistettavat äänet valitulle kielelle. Koska sovelluksen kohdeyleisö ei suurimmaksi osaksi osaa lukea, tekee se äänestä tärkeän osan sovellusta.

Työn teknisiin tavoitteisiin kuuluu kielivalinta, teemojen lataus pilvipalvelimelta sekä suoritettujen teemojen seuranta. Sovellus ei ole monipuolinen, mikäli se tukee vain yhtä kieltä. Tämän takia tavoitteena on luoda käyttäjälle mahdollisuus valita usean eri kielen väliltä. Sovelluksen sisällä on valmiina yksi teema. Uusien teemojen lisääminen vaatii sovelluksen uudelleen buildaamisen, minkä takia teemojen lataaminen pilvipalvelimelta sovelluksen ollessa käynnissä on paljon nopeampi ja kätevämpi tapa. Viimeisenä tavoitteena on antaa käyttäjän seurata suoritettuja teemoja. Sovellusta tulee käyttämään vuorotellen monta eri käyttäjää, joten suoritettujen teemojen seurannasta voisi näkyä tilastoja, kuinka kukin käyttäjä on käyttänyt eri teemaisissa ympäristöissä.

1.3 Työn rakenne

Luvussa kaksi perehdytään lisätyn todellisuuden toiminnallisuuteen, historiaan, käyttömahdollisuuksiin sekä tulevaisuuteen. Luvussa kolme esitellään työssä käytetyt tekniikat, ohjelmistot ja laitteet. Luvussa neljä käydään läpi työn vaiheet ja toteutettu sovellus. Luvussa viisi kerrotaan työn tulokset ja käydään läpi sen tavoitteet. Siinä pohditaan myös työn jatkokehitysmahdollisuuksia.

1.4 Yritysesittely

Valakia Interactive Oy on vuonna 2015 perustettu yritys, joka sijaitsee Seinäjoella. Yritys tarjoaa hauskoja ja erittäin tehokkaita työkaluja markkinoinnin tueksi. (Valakia Interactive [Viitattu 29.1.2019].)

Valakian palveluihin kuuluvat yksilölliset ratkaisut sähköisiin medioihin, digitaaliset pinnat ja graafinen suunnittelu mainoksiin, painotuotteisiin, kotisivuihin, kuvituksiin, infografiikkaan, pakkausmateriaaleihin ja yritysten kokonaisilmeisiin (Valakia Interactive [Viitattu 29.1.2019]).

Lisäksi yrityksen palveluihin kuuluvat virtuaalitodellisuus sekä lisätty todellisuus, jonka avulla on mahdollista herättää kuvat eloon ja lisätä mainoksen informaatioarvoa innovatiivisella tavalla (Valakia Interactive [Viitattu 29.1.2019]).

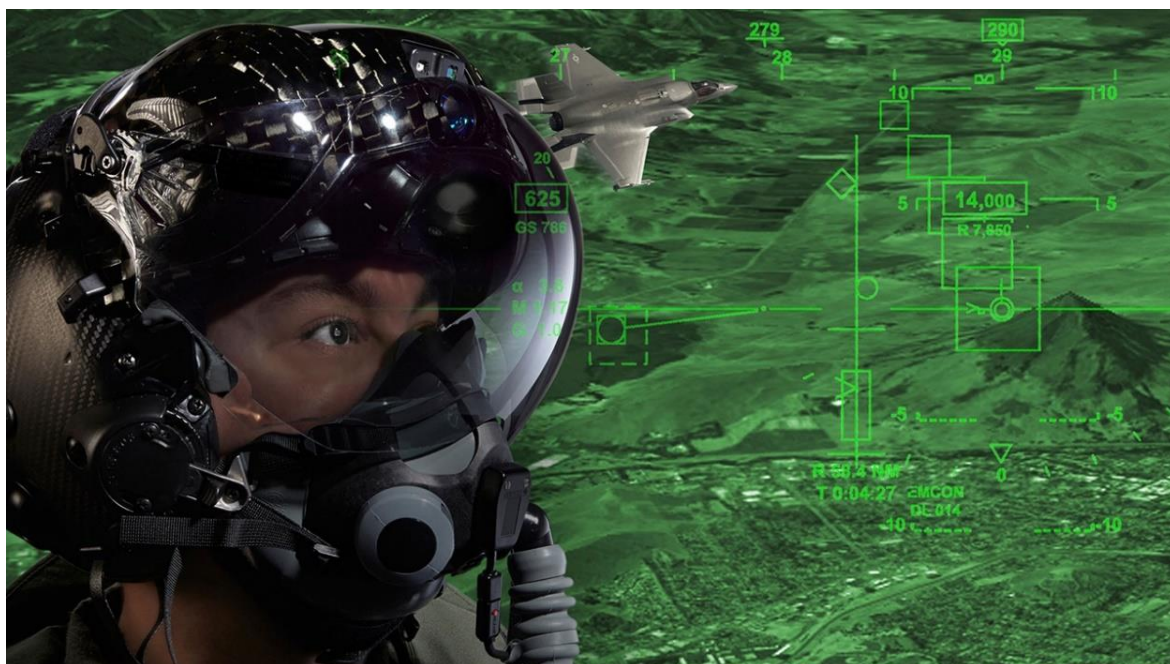
2 LISÄTTY TODELLISUUS

2.1 Mitä on lisätty todellisuus?

Lisätty todellisuus eli AR on tekniikkaa, jolla voidaan näyttää graafista informaatiota käyttäjän näkemän todellisuuden päällä (Aukstakalnis 2016, 20).

Lisätty todellisuus parantaa käyttäjän käsitystä ja vuorovaikutusta todellisen maailman kanssa. Virtuaaliset objektit näyttävät tietoa, jota käyttäjä ei voi omilla aisteillaan havaita. Tämä tieto parantaa käyttäjän tekemiä todellisen maailman tehtäviä. (Azuma 1997, 3.)

Lisäystä todellisuudesta hyvä esimerkki on hävittäjälentäjien kypärässä oleva HUD (heads-up display) eli ilmoitusnäyttö. Se näyttää lentämiseen liittyvää tietoa lentäjän näkökenttään, jolloin hänen ei tarvitse katsoa alas ohjaamon näyttöihin. (Aukstakalnis 2016, 23.)

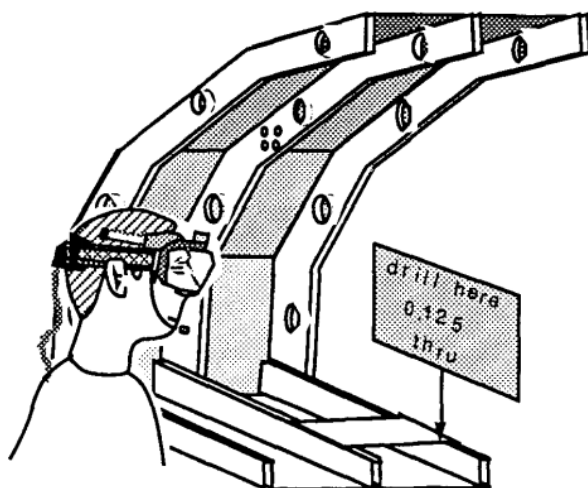


Kuva 1. Hävittäjälentäjän ilmoitusnäyttö. (Collins Aerospace [Viitattu 10.4.2019].)

2.2 Historia

Thomas Caudell ja David Mizell kehittivät 1990-luvun alussa päähän asetettavan läpinäkyvän näytön, joka näytti käyttäjälle eli tehdastyöntekijälle informaatiota. Tehdastyöntekijät käyttivät tätä informaatiota helpottaakseen lentokoneen osien rakentamista. Informaatio näytti esimerkiksi mihin kohtaan osaa käyttäjän täytyi porata reikä, minkä kokoisella poralla ja kuinka syvä siitä piti tulla. Käyttäjän liikkuesssa informaatio pysyi paikallaan. Tämän mahdollisti pään kuuden vapausasteen seuranta ja graafisen informaation muuttaminen vastaamaan käyttäjän uutta sijaintia ja suuntaa. (Caudell & Mizell 1992, 2.)

Thomas Caudell ja David Mizell myös lanseerasivat termin ”lisätty todellisuus” tarkoittamaan tietokoneella tehtyjen elementtien näyttämisen todellisen maailman päällä (Carmigniani & Furht 2011, 4).



Kuva 2. Lisätyn todellisuuden apujärjestelmä lentokoneen osien rakentamiseen. (Caudell & Mizell 1992, 2.)

Vuonna 2000 kehitetty ARQuake oli laajennettu versio Quake-nimisestä tietokonepelistä. Se oli yksi ensimmäisistä järjestelmistä, joka mahdollisti lisätyn todellisuuden pelin pelaamisen ulkona. Pelaaja piti päässään läpinäkyvää näyttöä, selässään kannettavaa tietokonetta ja kädessään muovista asetta. Käyttäjän liikkuminen perustui digitaaliseen kompassiin ja GPS-järjestelmään. (Piekarski & Thomas 1.1.2002, 1, 2.)



Kuva 3. ARQuake-peli. (Wearable Computer Lab [Viitattu 11.4.2019].)

Vuonna 2001 Gerhard Reitmayer ja Dieter Schmalstieg kehittivät järjestelmän, jolla kaksi henkilöä pystyi olemaan jaetussa lisätyn todellisuuden tilassa samaan aikaan. Käyttäjät pelasivat muun muassa shakkia toisiaan vastaan paikallisverkon avulla. Ensimmäinen käyttäjä käytti kiinteää tietokonetta ja toinen liikkuvaa. Järjestelmässä oli myös toinen kiinteä tietokone, jossa oli kamera. Tämän tarkoituksena oli dokumentoida pelin kulku, näyttää molemmat henkilöt, virtuaalinen shakkipöytä ja sen pelinappulat. (Reitmayer & Schmalstieg [Viitattu 10.4.2019], 7.)



Kuva 4. Shakkia lisätyssä todellisuudessa. (Reitmayer & Schmalstieg [Viitattu 10.4.2019], 8.)

Seuraavien vuosien ajan AR-sovelluksia tuotettiin aina vain enemmän. Suurin osa sovelluksista oli tarkoitettu mobiililaitteille (Carmigniani & Furht 2011, 5).

2.3 Toimintaperiaate

AR-tekniikka vaatii toimiakseen useamman eri komponentin. Laitteistoksi se vaatii muun muassa tietokoneen tai mobiililaitteen, näytön, kameran sekä paikannuslaitteiston. Ohjelmistoksi se vaatii paikallisesti suoritettavan sovelluksen tai ohjelman, ja yleensä myös verkkopalvelut ja sisältöpalvelimen. (Kipper & Rampolla 2012, 5.)

Lisätty todellisuus voidaan kokea eri laitteilla kuten tietokoneella, jossa on web-kamera, älypuhelimilla ja -tableteilla sekä älylaseilla ja päähän puettavilla headseteillä (Kipper & Rampolla 2012, 5).

2.3.1 Paikkaperusteinen tunnistus

Sijainnin tunnistus on edellytys kaikille sijaintia käyttäville sovelluksille. Jotta sovellus voisi tarjota käyttäjälle hänen sijaintiaan koskevia palveluita ja tietoa, on järjestelmän ilmoitettava sille käyttäjän nykyinen sijainti. Lisätyn todellisuuden sovellukset edellyttävät erittäin tarkkaa sijainnin tunnistusta rekisteröidäkseen visuaalista tietoa tarkasti käyttäjän nähtäväksi. Ulkotiloissa sovellus saa tietoonsa käyttäjän sijainnin GPS-järjestelmän avulla, kun taas sisätiloissa saatu signaali on huomattavasti heikompi. Paikkaperusteista tunnistusta käyttävät lisätyn todellisuuden sovellukset liittyvät yleensä navigointiin. (Reitmayer & Schmalstieg [Viitattu 5.4.2019], 2.)

2.3.2 Markkeripohjainen tunnistus

Lisätty todellisuus voi käyttää todellisuudessa olevia kuvia eli markkereita laukaisutakseen vuorovaikutteisia malleja. Tästä esimerkkinä on markkerin päälle avautuva urheiluauto, joka tulee näkyviin, kun käyttäjä osoittaa laitteen kameran sitä päin. Tämän jälkeen käyttäjä voi vaihtaa urheiluauton väriä. (Bower, Howe, McCredie, Robinson & Grover 2014, 3.)



Kuva 5. Markkeripohjainen tunnistus. (Wagner & Schmalstieg [Viitattu 10.4.2019], 1.)

2.4 Käyttömahdollisuudet

Lisätty todellisuus on vuosikymmenien aikana kehittynyt osaksi nykyaikaista teknologiaa, minkä takia sitä käytetään moneen eri tarkoitukseen (Kipper & Rampolla 2012, 5).

AR-tekniikkaa käytetään muuan muassa opetuskäyttöön, korjaukseen ja ylläpitoon ja markkinointiin. Nämä esimerkit esitellään seuraavissa luvuissa tarkemmin.

2.4.1 Opetuskäyttö

AR-tekniikan todetaan parantavan oppimista, sillä oppijat oppivat parhaiten, kun he pystyvät itse hallitsemaan omaa oppimistaan ja pääsevät vuorovaikutukseen todellisten ja lisätyn todellisuuden ympäristöjen kanssa. AR-tekniikalla on myös suuret mahdollisuudet kehittyneempään koulutukseen ja taitojen ylläpitämiseen. Mekaaniko voisi esimerkiksi opetella uuden laitteen korjausmenetelmän vaiheet tai palomies harjoitella sammuttamaan tietynlaisen tulipalon vaarantamatta itse omaa henkeään. Lisätyn todellisuuden etu opetuskäytössä on se, ettei oppimisesta koidu pysyviä vahinkoja, jos jokin asia epäonnistuu. Mikäli virheitä sattuu, käyttäjä saa siitä välittömän palautteen, jolloin hän osaa toimia paremmin seuraavalla kerralla. (Kipper & Rampolla 2012, 19 & 20.)

2.4.2 Korjaus ja ylläpito

Yksi lisätyn todellisuuden käyttötarkoituksista on koneiden ja laitteiden korjaus sekä huolto. Ohjeet voivat olla helpompia ymmärtää, kun ne ovat visuaalisia 3D-malleja sijoitettuna korjattavan tai huollettavan laitteen päälle. Ohjeet voivat olla animoituja, jolloin ne ovat entistä selkeämpiä. Yksi esimerkki tästä on lasertulostimen ylläpitosovellus. (Azuma 1997, 3.)



Kuva 6. Lasertulostimen ylläpitosovellus. (Azuma 1997, 5.)

2.4.3 Markkinointi

Yhä useampi yritys hyödyntää mobiililaitteiden vallitsevaa asemaa maailmassa lisätäkseen omia lisätyn todellisuuden kampanjoitaan käyttäjien nähtäväksi. Autoteollisuuden yritykset kuten BMW, Mini, Toyota ja Nissan lisäävät lehtimainokseensa lukijoille mahdollisuuden tarkastella kolmiulotteista mallia markkinoidusta autosta. Lego-paketin kyljestä olevasta markkerista voidaan avata video, jossa näkyy Lego-paketin sisältö koottuna. Lego-kaupat hyödyntävät näin AR-tekniikkaa markkinoimiseen. (Kipper & Rampolla 2012, 14.)



Kuva 7. Minin lisätyn todellisuuden mainos. (Carmigniani & Furht 2011, 25.)

2.5 Tulevaisuus

Lisätty todellisuus on vielä kehityksensä alkuvaiheessa. Tulevaisuuden mahdollisuudet ovat äärettömät. Tehdyissä tutkimuksissa visioidaan tulevaisuutta, jossa ihmiset voisivat olla vuorovaikutuksessa tiedon kanssa mahdollisimman vähäisellä määrällä laitteita. Käyttäjä voisi pitää silmissään piilolinsejä, jotka tuottavat tietoa hänen näkökenttäänsä. Tällöin vain ainoastaan piilolinsejä käyttävä henkilö näkisi tämän tiedon, mikä tekisi siitä henkilökohtaisen. Lisätty todellisuus voisi myös korvata joidenkin ihmisten puuttuvia aisteja. Esimerkiksi kuulovammaiset voisivat saada visuaalisia vihjeitä ympäriltä kuuluvista äänistä, tai sokeat saisivat äänen muodossa tietoa kaikesta ympärillä tapahtuvasta. (Mistry, Maes & Chang 2009, 5.)



Kuva 8. Lisätyn todellisuuden piilolinssit. (Carmigniani & Furht 2011, 39.)

3 TEKNIIKAT, OHJELMISTOT JA LAITTEET

3.1 AR Foundation

AR Foundation on Unity Technologiesin kehittämä paketti, joka tarjoaa toiminnallisuuksia lisätyn todellisuuden kanssa työskentelyyn. Se tarjoaa yhteisen ohjelmointirajapinnan, joka tukee sekä ARCoren että ARKitin keskeisiä toimintoja. Tämän ansiosta se mahdollistaa AR-pelin tai -sovelluksen kehittämisen samanaikaisesti Android- ja iOS-laitteille. (Unity Technologies [Viitattu 23.4.2019].)

3.2 ARCore

ARCore on Googlen kehittämä alusta AR-pelien ja -sovellusten luomiseen. Sen toimintoihin kuuluu liikkeen seuranta, jolla laite ymmärtää ja seuraa sijaintiaan suhteessa ympäröivään maailmaan. Tämän lisäksi ARCore havaitsee erilaisien pintojen kuten maan, pöydän tai seinän koon sekä sijainnin. ARCore pystyy myös arvioimaan tilan valaistusolosuhteet. (Google [Viitattu 15.2.2019].)

3.3 ARKit

ARKit on Applen kehittämä alusta AR-pelien ja -sovellusten luomiseen. Sen yksi toiminnoista on kasvojen analysointi (Apple [Viitattu 15.2.2019]). ARKit pystyy havaitsemaan kasvojen sijainnin, rakenteen ja käyttäjän ilmeen tarkasti ja reaaliaikaisesti (Apple Developer [Viitattu 10.4.2019]). Se osaa myös havaita ympäristön pinnat tarkasti ilman lisäkalibrointia (Apple [Viitattu 15.2.2019]).

3.4 Unity

Unity on Unity Technologiesin kehittämä ammattitason pelimoottori, jolla voidaan kehittää kaksi- ja kolmiulotteisia PC-, selain- ja konsolipelejä. Unity on hyvin tehokas ja monipuolinen pelimoottori. Siitä on olemassa myös ilmainen versio. Unity tukee

tällä hetkellä 27 eri laitealustaa, joista tärkeimmät ovat iOS, Android, Windows, macOS, Linux, WebGL, PlayStation 4, Xbox One, 3DS, Oculus Rift, Google Cardboard, SteamVR, Nintendo Switch ja Facebook Gameroom. (Unity Technologies [Viitattu 1.2.2019].) Unityn ohjelmointikielenä toimii C#-ohjelmointikieli. (Unity Technologies [Viitattu 23.4.2019]).

Unity on maailman käytetyin pelimoottori. Sillä tehtyjä sovelluksia ja pelejä käyttää noin 3 miljardia laitetta ympäri maailmaa. Peliteollisuuden lisäksi Unity-pelimoottoria käytetään arkkitehtuurissa, autoteollisuudessa, rakentamisessa, suunnittelussa, elokuvissa ja monessa muussa käyttötarkoituksessa. Puolet maailman mobiilipeleistä on tehty käyttäen Unityä. Tällä hetkellä maailmassa on 27 Unityn toimistoa, joissa työskentelee yhteensä 2000 työntekijää. (Unity Technologies [Viitattu 11.3.2019].)

3.5 Blender

Blender on Blender Foundationin kehittämä ilmainen avoimen lähdekoodin 3D-grafiikkaohjelmisto. Blenderiä käytetään luomaan animoituja elokuvia, erikoistehosteita, 3D-sovelluksia ja 3D-malleja. Sen ominaisuuksiin kuuluu muun muassa 3D-mallinnus, teksturointi, nesteen, savun ja hiukkasten simulointi, animointi, renderöinti ja videon editointi. (Blender Foundation [Viitattu 23.4.2019].)

Blenderillä itsellään on töissä pieni henkilöstö. Ohjelmiston kehitys tapahtuu pääsääntöisesti ympäri maailmaa sijaitsevien vapaaehtoisten kehittäjien toimesta. Nämä kehittäjät ovat muun muassa animaattoreita, taiteilijoita, elokuvaefektien asiantuntijoita, tutkijoita ja harrastajia. (Blender Foundation [Viitattu 1.2.2019].)

3.6 Työssä käytetty AR-laite

Opinnäytetyössä käytettiin AR-tekniikkaa tukevaa mobiililaitetta, Samsung Galaxy S8+ -älypuhelinlaite, jossa oli Android-käyttöjärjestelmä.

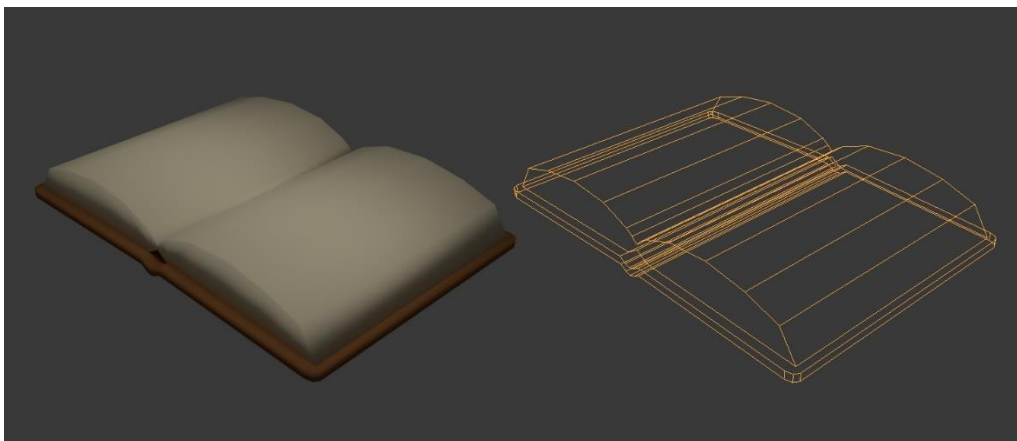
Samsung Galaxy S8+ -älypuhelimessa on ympäröivä infinity-näyttö, joka luo rajattoman vaikutelman käyttäjälle. Näytön koko on 158,1 millimetriä ja sen tarkkuus on

2960 x 1440 pikseliä. Laitteessa on 12 megapikselin takakamera ja 8 megapikselin etukamera. Sen suorittimena toimii 2,3 gigahertsin kahdeksanytimen suoritin. Laitteessa on 4 gigatavua RAM-muistia ja 64 gigatavua sisäistä muistia. (Samsung [Vii-tattu 23.4.2019].)

4 TYÖVAIHE

4.1 3D-ympäristön ja -mallien toteutus

Sovelluksen 3D-mallit toteutettiin Blenderin 3D-grafiikkaohjelmistolla. Oppimisym-
päristöön tulevat 3D-mallit ovat huonekaluja ja yleisiä tavaroita. Ne koostuvat pie-
nestä polygonien määrästä, jotta suorituskyky voidaan pitää mobiililaitteilla mahdol-
lisimman korkealla. Suurin osa 3D-malleista tehtiin primitiivimuotoja yhdistämällä ja
muuttamalla, minkä ansiosta niiden tekoprosessi oli lyhytaikainen. Ensimmäisinä
3D-malleina luotiin tuoli, televisio, kirja, lamppu, kynttilä sekä huone, jonka sisälle
huonekalut ja tavarat asetetaan.



Kuva 9. Renderöity ja rautalankatilassa oleva kirjan 3D-malli Blenderissä.

3D-mallit tuotiin ulos Blenderistä erittäin yleisessä, monipuolisessa ja hyvin tuetussa
3D-tiedostomuodossa nimeltä FBX. Tämä tiedostotyyppi on myös yhteensopiva
Unity-pelimoottorin kanssa. 3D-mallit asetettiin objekteiksi Unity-projektin sceneen.
Scenessä objekteille lisättiin niihin sopivan väriset materiaalit, jotka käyttävät Unlit-
tyypistä shaderiä.

Shaderit ovat skriptejä, jotka sisältävät matemaattisia laskelmia ja algoritmeja. Niillä
lasketaan jokaisen esitetyn pikselin värin esittäminen materiaalikokoonpanon ja va-
laistuksen perusteella. Unlit-tyyppisen shaderin omaavat materiaalit eivät ole vaiku-
tuksessa valon kanssa, vaan värjäävät ainoastaan objektin pinnat halutun värisiksi.
Unlit on tunnettu myös toisella nimellään, Flat Shading. Tällä tavoin säästetään suo-

rituskykyä, sillä pelimoottori ei tarvitse laskea ja piirtää valojen vaikutuksia tai varjoja objektiin. Sen lisäksi tämän tyyppinen grafiikka sopii kyseisen sovelluksen yleiseen ulkonäköön.



Kuva 10. Unity-projektin scenessä oleva objekti, jolla on Unlit-materiaali.

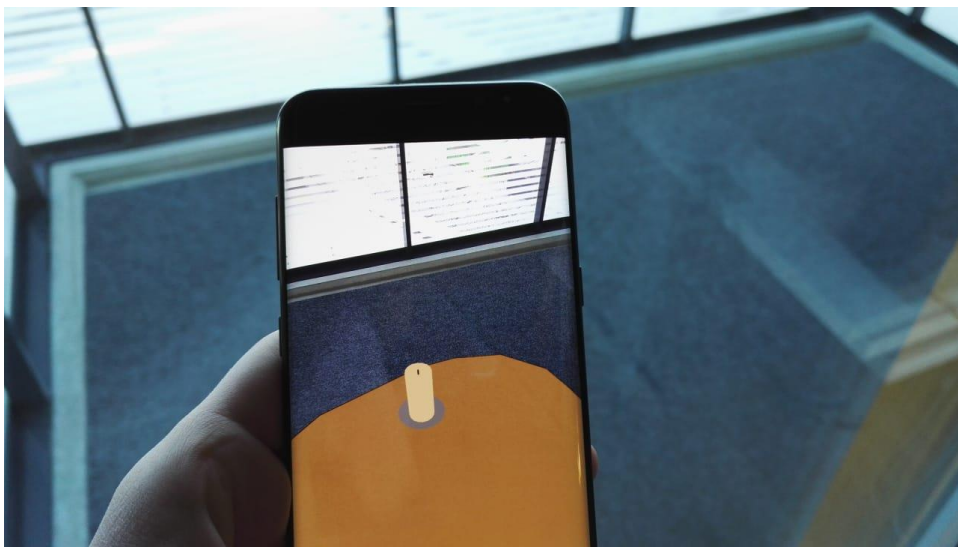
4.2 AR-tekniikan lisääminen

Työssä käytettiin Unity-pelimoottoriin saatavaa AR Foundation -pakettia, jotta sovellusta voitiin kehittää samanaikaisesti sekä Android- että iOS-laitteille. Sovellus pystyttiin myös buildaamaan ja testaamaan kummallakin käyttöjärjestelmällä kehityksen eri vaiheissa.

AR Foundation tarjoaa valmiina muun muassa erilaisia lisätyn todellisuuden skannaustekniikoita. Opinnäytetyössä testattiin kahta eri tekniikkaa selvittämään, kumpi näistä on sopivampi ja helppokäyttöisempi kyseisen sovelluksen kannalta.

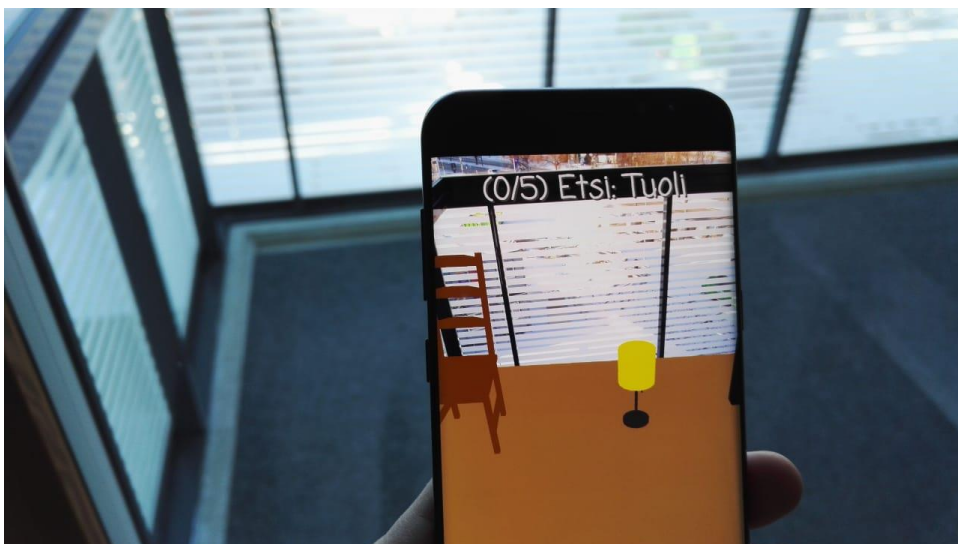
Ensimmäinen tekniikoista on reaaliaikainen pintojen skannaus laitteen kameraa käyttäen. Tällä tekniikalla todellisten pintojen päälle luodaan laajeneva virtuaalinen

lattia. Mitä isommalta alueelta käyttäjä skannaa tasaisia pintoja, sitä enemmän lattiaa piirretään. Tällä tavoin käyttäjä pystyy skannaamaan minkä tahansa huoneen oppimisympäristöksi. Objekteja tulee näkyviin lattian päälle tietyn väliajoin käyttäjän skannatessa lattiaa. Toisena vaatimuksena objektin avautumiselle on, että sen etäisyys muista objekteista on suurempi kuin yksi metri. Objekteja tulee näkyviin niin kauan, kunnes kaikki valitun teeman objektit on luotu. Käyttäjä voi etsiä objekteja samalla, kun hän skannaa lattiaa tai aloittaa etsimisen vasta, kun kaikki objektit on luotu.



Kuva 11. Pintojen reaaliaikainen skannaus.

Toinen tekniikoista on huoneen asettaminen käyttäjän toimesta. Käyttäjä skannaa todellisia pintoja laitteen kameralla ja asettaa virtuaalisen huoneen haluamaansa paikkaan. Huoneen koon pystyy hahmottamaan asettamisvaiheessa, mikä auttaa käyttäjää sijoittamaan sen sopivalle paikalle. Huoneen sisälle tulee näkyviin valitun teeman mukaiset objektit. Tämän jälkeen käyttäjä voi kävellä ympäri huonetta ja etsiä objekteja.



Kuva 12. Käyttäjän asettama huone.

Näistä tekniikoista paremmaksi osoittautui huoneen asettaminen käyttäjän toimesta. Koska sovellus tulee käytettäväksi varhaiskasvatukselle, on tärkeää pitää se mahdollisimman helppokäyttöisenä. Huoneen asettamistekniikkaa on näistä tekniikoista helpompi käyttää. Lattian reaaliaikaisessa skannaustekniikassa oli kaiken lisäksi teknillinen ongelma. Lattiaa skannatessa objektit tulevat näkyviin joskus lattian alapuolelle, mikä vaikeutti niiden etsimistä. Tässä tekniikassa olisi ollut kuitenkin yksi hyvä puoli. Se olisi toiminut monissa erikokoisissa huoneissa, kun toisessa tekniikassa huoneen tulee aina olla sama ja tietty.

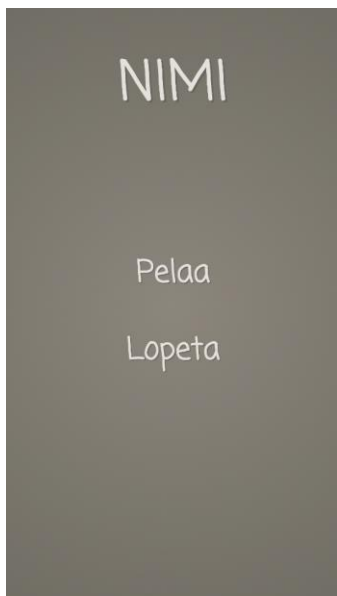
4.3 Sovelluksen käyttöliittymä ja logiikka

Sovelluksen näkymiin sisältyy käynnistyskuva, päävalikko, teema- ja kielivalinta sekä ohje- ja voitonäkymä. Näkymien 2D-elementit ovat Canvas-tyyppisten objektien sisällä. Canvas on kuin kaksiulotteinen kehys, joka pitää sisällään tekstejä, paineeleita, kuvia, videoita ja painikkeita. Käyttöliittymän Canvas-objektit piirretään kameras näkökentän päälle. Kaikkien näkymien 2D-elementit on ankkuroitu ja aseteltu niin, että ne toimivat erikokoisilla näytöillä sekä pysty- että vaakatilassa.

Sovelluksen käynnistyttyä ensimmäisenä näkymänä näytetään käynnistyskuva Valakia Interactiven logoanimaatiosta. Tässä scenessä on valmiina objekti, jolla on Manager.cs-niminen skripti. Skriptit ovat C#-ohjelmakoodia, jota voidaan määritellä objekteille. Skripteillä luodaan pelin tai muun sovelluksen logiikka. Manager.cs-

skriptin tarkoitus on hoitaa sovelluksen yleistä logiikkaa ja scenejen välillä siirtymistä.

Päävalikon sisältö koostuu sovelluksen nimestä ja kahdesta painikkeesta. Lopeta-painike sulkee sovelluksen, ja Pelaa-painike vie käyttäjän teemavalitsimeen.



Kuva 13. Sovelluksen nykyinen päävalikko.

Teemavalintanäkymän teemat ovat Grid Layout Group -komponentin vaikutuksen alaisena. Tämä komponentti asettaa sen sisällä olevat 2D-elementit, eli tässä tapauksessa painikkeet, listamaiseen järjestykseen. Teemavalintanäkymän vasemmassa alareunassa on erillinen painike, jolla käyttäjä pääsee halutessaan takaisin päävalikkoon. Käyttäjän valittua teeman aukeaa kielivalintanäkymä.



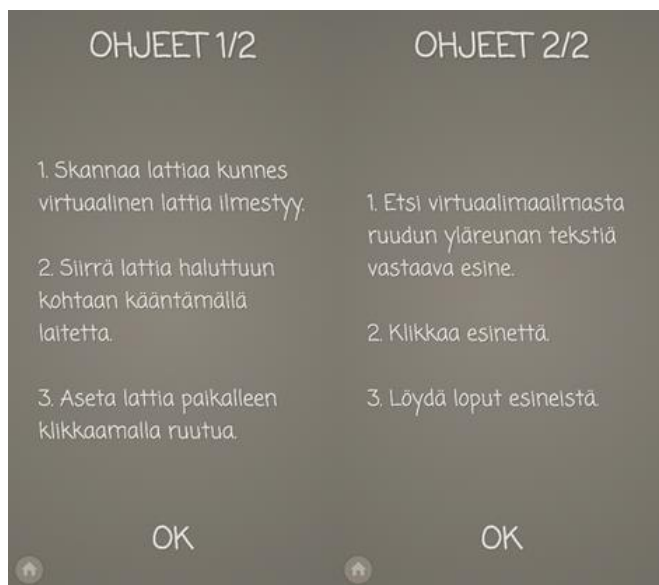
Kuva 14. Teemavalintanäkymä ja sen listan sisällä olevat teemat.

Kielivalintanäkymässä käyttäjä voi valita kieleksi joko suomen, englannin tai ruotsin. Tämä asetus vaihtaa etsittävän objektin nimen ja siitä toistettavan äänen valitulle kielelle. Nuoli-painikkeella käyttäjä pääsee takaisin teemavalintaan. Käyttäjän valitua kielen hänet vietään itse peliosuuteen.



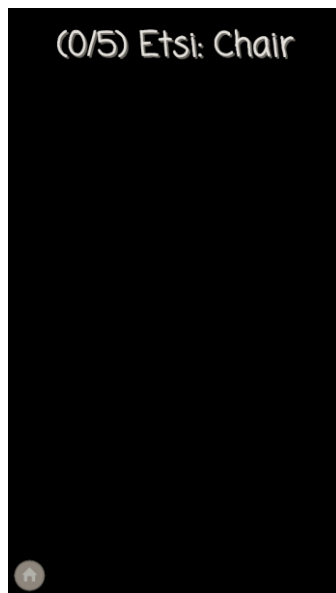
Kuva 15. Kielivalintanäkymä ja sen listan sisällä olevat kielet.

Ennen kuin käyttäjä voi pelata sovelluksen peliosuutta, täytyy hänen lukea ensimmäiset ohjeet ohjenäkymästä. Siinä opastetaan, kuinka virtuaalinen huone asetetaan paikoilleen. Käyttäjän asetettua huoneen hänelle näytetään ohjenäkymän toiset ohjeet. Näkymässä ohjeistetaan, kuinka itse peliä pelataan.



Kuva 16. Sovelluksen peliosuutta edeltävät ohjenäkymät.

Seuraavaksi käyttäjän tarkoituksena on etsiä objekteja sovelluksen peliosuudessa. Näkymän yläreunassa kerrotaan, montako objektia hän on löytänyt ja montako niitä on yhteensä huoneessa. Tämän vieressä lukee myös etsittävän objektin nimi valitulla kielellä.



Kuva 17. Pelinaikainen näkymä kielen ollessa englanti.

Käyttäjän löydettyä kaikki etsittävät objektit, hänelle näytetään voitonäkymä. Tästä näkymästä hän palaa takaisin päävalikkoon, ja voi pelata peliä uudestaan eri teemalla ja kielellä.



Kuva 18. Pelin lopussa näytettävä voitonäkymä.

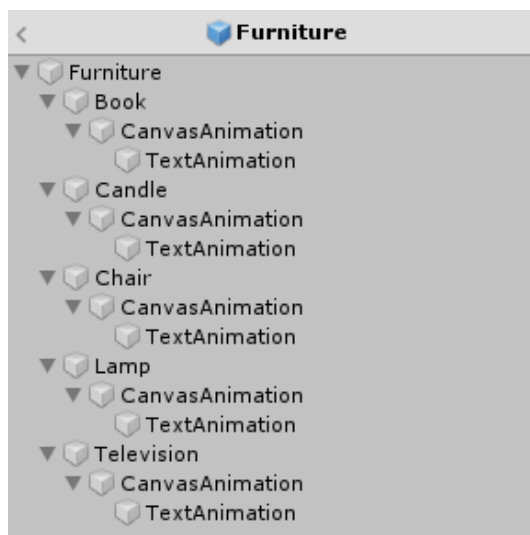
4.4 Peliosuuden vuorovaikutteiset objektit

Sovelluksen objekteille lisättiin Box Collider -komponentti, joka määrittää objektille yksinkertaisen muodon fyysisien törmäysten varalle. Tällä komponentilla voidaan myös havaita käyttäjän kosketus objektiin. Objekteille on koodattu skripti, joka käyttää Box Collider -komponenttia havaitakseen kosketuksia. Käyttäjän painaessa laitteen ruutua lähtee pelin sisäisestä kamerasta säde käyttäjän koskettamaa pistettä kohti. Mikäli säde osuu matkallaan johonkin objektiin, jolla on Collider-komponentti, laukaisee se animaation, joka näyttää kyseisen objektin nimen. Se tarkistaa myös, onko objektin nimi sama kuin etsittävän objektin nimi. Mikäli nimet täsmäävät, objektin nimi näkyy vihreällä, käyttäjä edistyy pelissä ja häntä kehoitetaan etsimään seuraava objekti. Jos taas käyttäjä valitsee väärän objektin, sen nimi ilmestyy punaisella, eikä edistystä tule. Käyttäjän löydettyä kaikki etsittävät objektit hänelle näytetään voittoruutu.



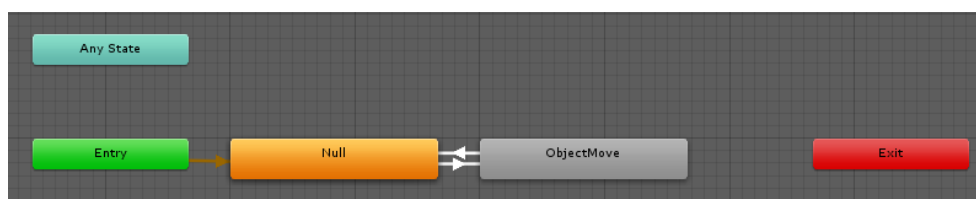
Kuva 18. Animaationsa puolessa välissä oleva objektin nimianimaatio.

Huoneesta ja sen sisällä olevista huonekaluista ja tavaroista on tehty prefab. Unityssä prefabit ovat monistettavia kopioita yhdestä tai useammasta objektista. Sovelluksen prefabit on sijoitettu teemoittain Unity-projektin Resources-nimiseen kansioon. Teemavalinnan avulla Manager.cs-skripti tietää asettaa oikean teeman prefabin sceneen. Prefabit rakentuvat vanhempi- ja lapsiobjekteista. Huonekaluteeman vanhempi-objekti on huone, jonka nimi on Furniture. Sen lapsiobjekteina on kaikki huonekalut ja tavarat. Kaikilla niistä on lapsiobjektina Canvas-objekti, jonka alapuolella tekstiobjekti. Nämä Canvas-objektit eivät sijaitse käyttöliittymässä, vaan pelimaailman sisällä, samassa kohdassa kuin vanhempi-objektinsa. Jokaiselle tekstiobjektille on luotu animaatio.



Kuva 19. Huonekalu-prefabin rakenne.

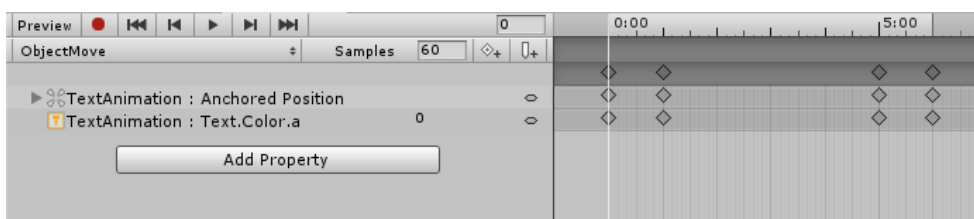
Jokaisella huonekalu- ja tavaraobjektilla on sama Animator Controller -komponentti. Tämä komponentti pitää sisällään verkoston kyseisen objektin ja sen lapsiobjektien animaatioista.



Kuva 20. Animator Controller -komponentin verkosto animaatioista.

Tässä tapauksessa verkostossa on kaksi animaatiota. Pelin käynnistyttyä animaatio, joka on Entry-laatikosta lähtevän nuolen päässä, toistetaan. Tämän animaation nimi on Null, eikä se animoi mitään. Se on siis tyhjä animaatio. Sen tarkoituksena on pitää objekti animoimatta, kunnes jokin Animator Controller -komponenttiin asetetuista ehdoista täyttyy. Tämän sovelluksen objekteille on lisätty yksi Trigger-tyyppinen ehto. Tämä ehto voidaan laukaista skriptistä käsin, jolloin siirrytään Null-animaatiosta valkoista nuolta pitkin ObjectMove-nimiseen animaatioon. Tässä vaiheessa toistetaan ObjectMove-animaatio. Opinnäytetyössä asetettiin Null-animaation takaisinpaluun ehdoksi se, että ObjectMove-animaatio on saatu päätökseen. Tällöin siirrytään valkoista nuolta pitkin takaisin animoimattomaan tilaan, jolloin animoinnin ehto voidaan jälleen laukaista skriptistä.

Objektin tekstianimaatio eli ObjectMove-niminen animaatio toistetaan kuuden sekunnin ajan. Kuuden sekunnin aikajanan sisälle on asetettu avaimia. Jokaisen avaimen kohdalla muokataan tekstin ominaisuuksia jollain tapaa. Animaation ensimmäisistä avaimista sekunnin kohdalla oleviin avaimiin tekstin sijaintia ja sen läpinäkyvyyttä muutetaan. Teksti nousee pelimaailmassa 50 pikseliä ylöspäin, ja sen läpinäkyvyys vaihtuu näkymättömästä täysin näkyväksi. Teksti pysyy tällaisena neljän sekunnin ajan, jonka jälkeen se siirtyy takaisin 50 pikseliä alaspäin, ja muuttuu näkymättömäksi.



Kuva 20. ObjectMove-animaatio objektin tekstille.

5 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyössä tutustuttiin lisättyyn todellisuuteen. Nykyisin lisättyä todellisuutta käytetään moneen eri tarkoitukseen. Moni käyttää sitä jopa päivittäin tietämättään. Teknologian edetessä lisätty todellisuus tulee nopeuttamaan ja helpottamaan päivittäistä asiointia.

Työ toteutettiin Unity-pelimoottorilla käyttäen AR Foundationin tarjoamia lisätyn todellisuuden tekniikoita. Sovelluksen logiikka ohjelmointiin C#-ohjelmointikielellä ja sen 3D-mallit luotiin Blenderin 3D-grafiikkaohjelmistolla.

Lopputuloksena syntyi toimiva, vuorovaikutteinen ja pelillistetty versio oppimisympäristöstä. Työssä päästiin siis alussa asetettuun tavoitteeseen. Teknisistä tavoitteista toteutettiin kielivalintamahdollisuus. Käyttäjä voi oppia sovelluksen avulla tällä hetkellä kolmea eri kieltä. Kaksi muuta teknistä tavoitetta jäi toteuttamatta, sillä ne eivät ole sovelluksen kannalta vielä ajankohtaisia. Näitä olivat teemojen lataaminen suoraan pilvipalvelimelta ja suoritettujen teemojen seuranta.

Opinnäytetyön tekeminen ei koko ajan sujunut moitteettomasti, sillä sitä tehdessä ilmeni myös ongelmia. Kun sovellusta yritettiin buildata Android-laitteelle, ilmoitti Unity virheestä "Gradle build failed". Tämä on yleistä, mikäli Android SDK -työkaluja ei ole päivitetty Unityn vaatimaan versioon. Ongelma kuitenkin ilmeni siihen saakka, kunnes kaikki sovelluksen kehitykseen liittyvät ohjelmat asennettiin uudestaan. Toinen ongelma ilmeni prefabien kanssa. Kun valmiin prefabin lapsiobjekteja yritettiin päivittää, Unity-kehitysympäristö kaatui. Samalla myös vaivalla tehdyt prefabit tuhoutuivat. Tämä on luultavasti vain hetkellinen bugi, koska uusi prefab-tekniikka on ollut osa Unityä vain lyhyen ajan. Työssä itsessään ei ollut hankalia vaiheita, ainoastaan aikaa vieviä ohjelmointiin liittyviä loogisia pulmia, joita tekijän täytyi pohtia.

Sovellus on siis vielä kehityksensä alkuvaiheessa. Jatkokehitysmahdollisuutena on muun muassa uusien teemojen lisääminen. Huonekalut-teeman lisäksi sovelluksessa voisi olla esimerkiksi viidakkoteema, jossa huoneen seinät olisivat puita ja muuta kasvillisuutta. Etsittävät objektit koostuisivat viidakon erilaisista eläimistä, joille olisi tehty animaatioita. Myös uusien kielten lisääminen on mahdollista. Seu-

raavaksi lisättävät kielet voisivat olla esimerkiksi espanja ja ranska. Tämän hetkessä sovelluksessa objektien nimet on kovakoodattu joka kielelle ja joka objektille erikseen. Myöhemmässä vaiheessa objektien nimet voisivat tulla esitäytetystä JSON-tiedostosta. Toisena vaihtoehtona voitaisiin käyttää Unityyn saatavaa lisäosaa, joka kääntää kirjoitetun tekstin automaattisesti valituille kielille. Koska sekä teemoista että kielistä on olemassa jo esimerkkipohjat, on uusien lisääminen melko vaivatonta. Sovelluksen yleisen ulkonäön parantaminen on myös osa jatkokehitystä. Käyttöliittymä on tällä hetkellä hyvin yksinkertainen ja väritön. Koska sovellus on suunnattu varhaiskasvatukselle, sopii siihen kirkkaat ja värikkäät värit. Opinnäytetyössä testattiin kahta erilaista lisätyn todellisuuden tekniikkaa, ja todettiin, että nykyistä parempikin tekniikka voisi olla saatavilla. Tämä voisi olla esimerkiksi sellainen, missä laitteen kamera skannaa jonkin huoneen seinistä, jonka jälkeen se osaa automaattisesti asettaa virtuaalihuoneen todellisen huoneen sisään. Sovelluksessa voisi olla myöhemmin myös mahdollisuus valita, millä tekniikalla sitä halutaan käyttää. Käyttäjä valitsisi tilaan ja tilanteeseen sopivimman tekniikan, jolloin pelikokemus olisi paras mahdollinen.

Alkuperäiset tekniset tavoitteet, joita ei vielä tehty, tullaan luultavasti tekemään tulevaisuudessa. Nämä ovat siis teemojen lataaminen pilvipalvelimelta ja suoritettujen teemojen seuranta. 3D-malleista koostuvien teemojen lataaminen onnistuisi ainakin Google Poly- ja Sketchfab-nimisillä palveluilla. Näissä palveluissa on olemassa rajapinnat, joita voidaan hyödyntää juuri tämän tapaisessa käytössä. Tämä ei kuitenkaan ole sovelluksen kannalta yksinkertainen tapa, sillä edellä mainitut palvelut ja 3D-mallit eivät tue äänitiedostoja. Sovelluksen keskeinen idea on saada toistettua objektin nimi äänitiedostolla. Pohdinnan aiheeksi jää myös se, kuinka 3D-malleista koostuva teema saadaan luotua automaattisesti prefabiksi, kun se on ladattu Google Poly- tai Sketchfab-palvelusta.

Opinnäytetyötä tehdessä huomattiin, kuinka lisätyn todellisuuden avulla oppimisesta voidaan saada tehtyä hyvin interaktiivista ja mukaansatempaavaa. Tavallisten opetusmenetelmien, kuten kirjojen sijaan käyttäjä, eli lapsi pääsee osaksi uutta ja ihmeellistä virtuaalista maailmaa, jolloin oppiminen pysyy mielenkiintoisena pitkään.

LÄHTEET

Apple. Ei päiväystä. ARKit. [Verkkosivu]. Apple. [Viitattu 15.2.2019]. Saatavana: <https://developer.apple.com/documentation/arkit>

Apple. Ei päiväystä. Face Tracking with ARKit. [Verkkosivu]. Apple. [Viitattu 10.4.2019]. Saatavana: <https://developer.apple.com/videos/play/tech-talks/601>

Aukstakalnis, S. 2016. Practical Augmented Reality. A Guide to the Technologies, Applications, and Human Factors for AR and VR. United States of America: Addison-Wesley Professional.

Azuma R. 4.8.1997. A Survey of Augmented Reality. [Verkkojulkaisu]. Hughes Research Laboratories. [Viitattu 5.4.2019]. Saatavana: <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>

Bower, M., Howe, C., McCredie, N., Robinson, A. & Grover, D. 4.3.2014. Augmented Reality in education – cases, places and potentials. [Verkkojulkaisu]. Educational Media International. [Viitattu 5.4.2019]. Saatavana: <http://dx.doi.org/10.1080/09523987.2014.889400>

Blender Foundation. Ei päiväystä. About. [Verkkosivu]. Blender Foundation. [Viitattu 1.2.2019] Saatavana: <https://www.blender.org/about>

Blender Foundation. Ei päiväystä. Tutorials. [Verkkosivu]. Blender Foundation. [Viitattu 23.4.2019]. Saatavana: <https://www.blender.org/support/tutorials/>

Carmigniani, J. & Furht, B. 2011. Augmented reality: An Overview. Teoksessa: F, Furht (toim.) Handbook of Augmented Reality. New York: Springer.

Caudell, T. & Mizell, D. 1.2.1992. Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. [Verkkojulkaisu]. Boeing Computer Services, Research and Technology. [Viitattu 10.4.2019]. Saatavana: https://www.researchgate.net/publication/3510119_Augmented_reality_An_application_of_heads-up_display_technology_to_manual_manufacturing_processes

Collins Aerospace. Ei päiväystä. Helmet Mounted Displays (HMD). [Verkkosivu]. Collins Aerospace. [Viitattu 10.4.2019]. Saatavana: <https://www.rockwellcollins.com/Products-and-Services/Defense/Avionics/Displays-and-Controls/Helmet-Mounted-Displays.aspx>

Google. Ei päiväystä. ARCore Overview. [Verkkosivu] Google. [Viitattu 15.2.2019]. Saatavana: <https://developers.google.com/ar/discover>

Kipper, G. & Rampolla, J. 2012. Augmented Reality. An Emerging Technologies Guide to AR. Massachusetts: Elsevier.

Miller D., Mowrer T. & Weiers B. 18.12.2018. Unity's Handheld AR Ecosystem: AR Foundation, ARCore and ARKit. [Verkkosivu]. Unity Technologies. [Viitattu 23.4.2019]. Saatavana: <https://blogs.unity3d.com/2018/12/18/unitys-handheld-ar-ecosystem-ar-foundation-arcore-and-arkit/>

Mistry, P., Maes, P. & Chang, L. 4.4.2009. [Verkkojulkaisu]. WUW – Wear ur world – A wearable gestural interface. [Viitattu 11.4.2019]. Saatavana: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.464.7728&rep=rep1&type=pdf>

Piekarski, W. & Thomas, B. 1.1.2002. ARQuake: The Outdoor Augmented Reality Gaming System. [Verkkojulkaisu]. Piekarski, University of South Australia. [Viitattu 10.4.2019]. Saatavana: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=5063017B9B0081C83A1BB8BF6DE36CBF?doi=10.1.1.3.5679&rep=rep1&type=pdf>

Reitmayer G. & Schmalstieg D. Ei päiväystä. Location based Applications for Mobile Augmented Reality. [Verkkojulkaisu]. Vienna University of Technology. [Viitattu 5.4.2019]. Saatavana: <https://www.ims.tuwien.ac.at/publications/tuw-137413.pdf>

Reitmayer G. & Schmalstieg D. Ei päiväystä. Mobile Collaborative Augmented Reality. [Verkkojulkaisu]. Vienna University of Technology. [Viitattu 10.4.2019]. Saatavana: <https://www.ims.tuwien.ac.at/publications/tr-1882-00f.pdf>

Samsung. Ei päiväystä. Specifications. [Verkkosivu] Samsung. [Viitattu 23.4.2019]. Saatavana: <https://www.samsung.com/global/galaxy/galaxy-s8/specs/>

Thomas, B., Close, B., Donoghue, J., Squires, J., De Bondi, P., Morris, M. & Piekariski, W. Ei päiväystä. ARQuake: An Outdoor/Indoor Augmented Reality First Person Application. [Verkojulkaisu]. University of South Australia. [Viitattu 4.4.2019]. Saatavana: <http://www.tinmith.net/arquake/papers/thomas-iswc-2000.pdf>

Unity Technologies. Ei päiväystä. Public Relations. [Verkkosivu]. Unity Technologies. [Viitattu 11.3.2019]. Saatavana: <https://unity3d.com/public-relations>

Unity Technologies. Ei päiväystä. The world's leading real-time creation platform. [Verkkosivu]. Unity Technologies. [Viitattu 1.2.2019]. Saatavana: <https://unity3d.com/unity>

Unity Technologies. Ei päiväystä. Experienced programming, but new to Unity? You're already ahead of the game. [Verkkosivu]. Unity Technologies. [Viitattu 23.4.2019]. Saatavana: <https://unity3d.com/programming-in-unity>

Valakia Interactive. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Valakia Interactive Oy. [Viitattu 29.1.2019]. Saatavana: <http://www.valakia.fi>

Wagner, D. & Schmalstieg, D. Ei päiväystä. First Steps Towards Handheld Augmented Reality. [Verkojulkaisu]. Vienna University of Technology. [Viitattu 10.4.2019]. Saatavana: https://data.icg.tugraz.at/~dieter/publications/Schmalstieg_067.pdf

Wearable Computer Lab. Ei päiväystä. ARQuake: Interactive Outdoor Augmented Reality Collaboration System. [Verkkosivu]. Wearable Computer Lab. [Viitattu 11.4.2019]. Saatavana: <http://www.tinmith.net/arquake/>