



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Petrus Palola

Lisätty todellisuus ja sen mahdollisuudet

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Medianomi AMK

Esitys- ja teatteritekniikka

Opinnäytetyö

28.5.2020

Tekijä(t) Otsikko	Petrus Palola Lisätty todellisuus ja sen mahdollisuudet
Sivumäärä Aika	32 sivua 28.5.2020
Tutkinto	Medianomi (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Esitys- ja teatteritekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Esitys- ja teatteritekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Mikko Pirinen
<p>Tämä opinnäytetyö käsittelee lisättyä todellisuutta eli järjestelmää, joka lisää tietokoneella tuotettua sisältöä ja tietoa käyttäjän aistimaan todelliseen ympäristöön. Työssä kartoitetaan lisätyn todellisuuden hyödyntämisen historiaa ja nykytilaa esittelemällä havainnollistavia sovelluksia sekä paljon käytettyjä ohjelmistoja ja niiden tarjoamia ominaisuuksia. Esimerkit osoittavat, että tietokoneella tuotetun sisällön lisääminen teatteri- ja musiikkiesitysten yleisön aistimaan, todelliseen ympäristöön tarjoaa kulttuurituotantoihin mielenkiintoisia uudenlaisia mahdollisuuksia. Lisätyn todellisuuden eri sovellutusten kuvaus ulotetaan myös hieman kulttuurituotantoja laajemmalle alueelle, jotta tekniikan kehitys ja sen käyttömahdollisuuksien monipuolisuus voidaan osoittaa.</p> <p>Lopuksi opinnäytetyössä havainnollistetaan aiemmin esiteltyjä ratkaisumalleja empiirisen kokeilun avulla. Kokeilu osoittaa, että lisättyä todellisuutta voidaan hyödyntää varsin yksinkertaisillakin ratkaisulla, mutta toiminnan kuvaus ja sen mahdollisuuksien demonstroiminen ovat aloittelijalle haasteellisia. Siksi tämän opinnäytetyön tarkoituksena on toimia myös innostajana ja tienviittana lisätyn todellisuuden kanssa työskentelyn aloittaville.</p> <p>Työn viimeisessä luvussa pohditaan vielä lisätyn todellisuuden käytön tilannetta, hyötyjä ja haasteita nyt ja tulevaisuudessa. Lisätyn todellisuuden matka erityistehosteesta esitys- ja teatteritekniikan ammattilaisten jokapäiväiseksi työvälineeksi on kesken, mutta hyvässä vauhdissa.</p>	
Avainsanat	Lisätty todellisuus, AR

Author(s) Title	Petrus Palola Augmented Reality and Its Possibilities
Number of Pages Date	32 pages 28 May 2020
Degree	Bachelor of Arts
Degree Programme	Live Performance Engineering
Specialisation option	Live Performance Engineering
Instructor(s)	Mikko Pirinen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis is to examine augmented reality, a system that adds computer-generated content and information to the real environment perceived by the user. The work maps the history and current state of the use of augmented reality by presenting innovative applications, software, and the possibilities they offer. The examples show that adding computer-generated content to the real environment offers interesting new possibilities for cultural productions. The description of the various applications of augmented reality is also extended to a slightly wider area than cultural productions, to demonstrate the development of the technology and the versatility of its applications.</p> <p>Finally, the thesis illustrates the previously presented solution models with the help of an empirical experiment. The experiment shows that augmented reality can be utilized even with quite simple solutions, but describing the process and possibilities is challenging for a beginner. Therefore, the purpose of this thesis is also to act as an inspiration and a signpost for those starting to work with augmented reality.</p> <p>The last chapter of the work considers the situation, benefits, and challenges of using augmented reality now and in the future. The journey of augmented reality from a special effect to an everyday tool of live performance engineering professionals is in good speed.</p>	
Keywords	Augmented reality, AR

Sisälllys

1	Johdanto	1
2	Lisätty todellisuus	2
2.1	Määritelmä	2
2.2	Historia	4
3	Käytännön sovelluksia	6
3.1	Lisätyn todellisuuden teatteritekstit	6
3.2	Vesalan AR-konsertti	7
3.3	JVG:n Ikuinen Vappu -virtuaalikonsertti	7
3.4	Opera Beyond -projekti Suomen Kansallisopperassa	8
3.5	Ikea Place	9
3.6	Eduskuntavaalit 2019, Ylen tuloslähetys	10
3.7	Boeing 747-lentokoneen kaapelointi	11
3.8	Le Chat Doré -virtuaaliteos	13
4	Ohjelmistoesimerkkejä	14
4.1	Google Augmented Reality	14
4.2	Apple Augmented Reality	15
4.3	Snapchat Lens Studio	16
4.4	Unreal Engine	17
4.5	Unity	18
5	Empiirinen kokeilu lisätyn todellisuuden sovelluksesta	19
5.1	Kokeilun lähtökohta	19
5.2	Kokeilun järjestelmäkuvaus	19
5.3	Kokeilun virtuaalimaailma	22
5.4	Yhteenveto kokeilusta	24
6	Lisätyn todellisuuden käytön hyödyt, haasteet ja tulevaisuus	24
	Lähteet	29

Käsitteet

Alusta = laite tai käyttöjärjestelmä, jossa ohjelmisto toimii.

AR = Lyhenne englanninkielisestä termistä augmented reality eli lisätty todellisuus. Oikeaan todellisuuteen lisätään tietokonegeneroitua virtuaalis sisältöä.

MR = Lyhenne englanninkielisestä termistä mixed reality, eli sekoitettu todellisuus. Tällä tarkoitetaan lisätyn ja virtuaalitodellisuuden yhdistämistä oikeaan todellisuuteen.

Ohjelmointikieli = keinotekoinen kieli tai merkkijärjestelmä, jolla tietokoneohjelma laaditaan.

Pelimoottori = tietokonepelien ohjelmistokehitystyökalu, jonka avulla peli suunnittelijat voivat luoda pelejä eri päätelaitteille.

Pilvipalvelu = hajautettu verkkopalvelu, jossa tietokoneita, ohjelmia ja tietoteknisiä palveluja käytetään verkon kautta.

Päätelaite = tiedonsiirtoyhteyden päässä oleva laite.

SDK = Lyhenne englanninkielisestä termistä software development kit eli ohjelmistokehityspaketti. Nimensä mukaisesti se sisältää työkalukokonaisuuden ohjelmistokehitykseen yhdessä kerralla asennettavassa paketissa.

Virtuaalitodellisuuslasit (VR-lasit) = silmille nostettava, erityisesti videopeleihin käytetty laite, jonka kautta käyttäjälle avautuu uusi, virtuaalinen maailma.

VR = Lyhenne englanninkielisestä termistä virtual reality eli virtuaalinen todellisuus. Sillä tarkoitetaan tietokonesimulaation tuottamien aistimusten avulla luotua keinotekoisia ympäristöä.

AI = Lyhenne englanninkielisestä termistä artificial intelligence, eli tekoäly tarkoittaa tietokoneohjelmaa, joka tekee ihmismäisiä, älykkäinä pidettäviä päätöksiä ja toimintoja.

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö käsittelee lisättyä todellisuutta eli järjestelmää, joka lisää tietokoneella tuotettua sisältöä ja tietoa käyttäjän aistimaan todelliseen ympäristöön. Opinnäytetyössä kartoitetaan lisätyn todellisuuden hyödyntämisen nykytilaa ja pohditaan sen tulevaisuuden mahdollisuuksia. Työn tavoitteena on myös toimia tienviittana, innostajana ja ohjekirjana virtuaali- ja lisätyn todellisuuden kanssa työskentelyn aloittaville, sillä aiheesta ei ole toistaiseksi saatavilla selkeää ja ajantasaista tietokoostetta. Tämä parhailaan asemaansa erilaisten tuotantotahojen työkaluna vakiinnuttava teknologia on vielä monelle tuntematon ja monimutkaiselta, ehkä turhaltakin vaikuttava lisäke. Opinnäytetyössäni pyrin osoittamaan, että harkitusti ja laadukkaasti toteutettuna lisätty todellisuus voi tukea media- ja kulttuurituotantoja tuoden niille huomattavaa lisäarvoa ja kiinnostavuutta.

Lisättyä todellisuutta käytetään nykyisin erityisesti elävöittämään erilaisia tuotantoja. Monet tietokone- ja mobiilipelit ja sosiaalisen median alustat hyödyntävät lisättyä todellisuutta jo hyvinkin edistyneesti. Myös televisiolähetyksissä tätä tekniikkaa nähdään paljon, ja monet teatteritkin ovat alkaneet tehdä kokeiluja uuden teknologian avulla. Kevään 2020 koronavirusepidemian aiheuttamat rajoitukset ovat vaikuttaneet rajusti esitys- ja teatterimaailmaan, mutta luoneet samalla aivan uutta näkyvyyttä erilaisille virtuaalitekniikan sovelluksille.

Kuten teknologian kehittyessä ja yleistyessä yleensäkin käy, myös lisätyn todellisuuden menetelmien tarjonta lisääntyy ja sen laatu paranee samalla kun kustannukset pienenevät. Toisaalta uudet teknologiat tuovat myös uusia haasteita ja ongelmia. Tarkastelen opinnäyttyessäni lisätyn todellisuuden nykytilaa, kehityskaarta ja tulevaisuutta sekä vertaillen teknologisen tarjonnan erilaisia ratkaisuja ja kuvaan niiden ominaispiirteitä.

Esittelemäni konkreettiset esimerkit avaavat näkymiä teknologian mahdollisuuksiin ja haasteisiin ja auttavat ymmärtämään, että lisätty todellisuus on varmasti tärkeä osa myös esitys- ja teatteritekniikan tulevaisuutta. Tässä työssä esiteltävä, jo alan messuilla ja asiakastapaamisissa kokeilemani ja testaamani järjestelmä on riisuttu kaikesta ylimääräisestä ja valjastettu nimenomaan yksinkertaisia, havainnollisia demonstraatioita varten.

2 Lisätty todellisuus

2.1 Määritelmä

Lisätyllä todellisuudella tarkoitetaan järjestelmää, joka lisää tietokoneella tuotettua sisältöä ja tietoa käyttäjän aistimaan todelliseen ympäristöön. Lisätyn todellisuuden sovelluksia tarkastellaan läpikatseltavien näyttöjen kautta. Lisätyksi todellisuudeksi voidaan määritellä järjestelmä, joka

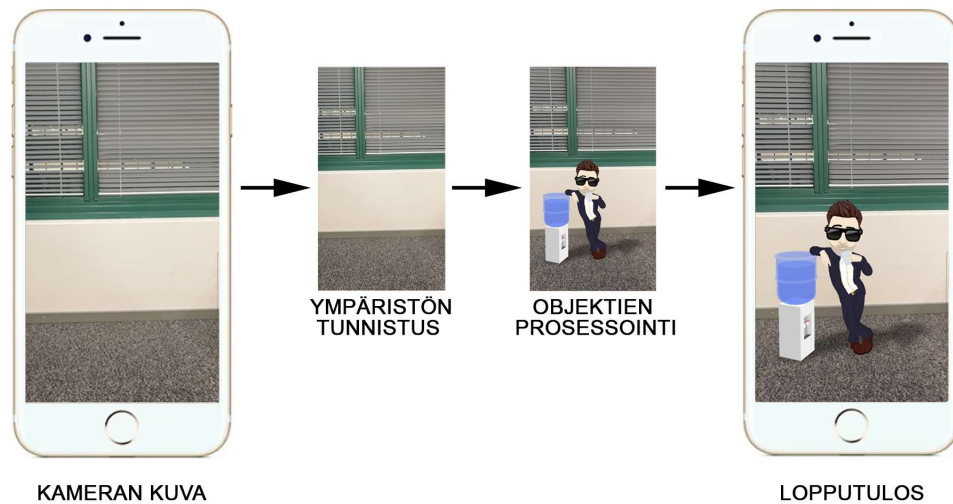
- yhdistää todellista ja virtuaalista,
- on interaktiivinen reaaliajassa ja
- rekisteröityy kolmiulotteisena.

Vaikka lisätyn todellisuuden järjestelmät voivat lisätä monia erilaisia aistimuksia kuten kuulemista tai kosketusta, tavallisimmat systeemit käyttävät erityisesti visuaalisia elementtejä. (Azuma 1997, 2.)

Lisätty todellisuus eli AR (englanniksi augmented reality) lisää sisältöä kameran näkymään, jolloin digitaalisesti tuotetuista objekteista tulee ikään kuin osa fyysistä maailmaa (Skovbjerg 2018). Käytännössä tämä voi tarkoittaa esimerkiksi ihmisen kasvojen muuttamista eläimeksi, digitaalisten opastaulujen automaattista asettamista ympäristöön sekä televisiolähetyksen tai teatteri- ja konserttiesitykseen elävöittämistä reaaliaikaiseen dataan reagoivilla kolmiulotteisilla grafiikoilla. Kaikki edellä kuvatut applikaatiot vaativat sovelluksilta ymmärrystä siitä, missä päätelaite sijaitsee, mihin se on suunnattu ja mitä se ”näkee”.

Lisätty todellisuus sekoitetaan usein virtuaaliseen todellisuuteen. Toisin kuin virtuaalinen todellisuus, lisätty todellisuus ei kuitenkaan korvaa koko ympäristöä vaan elävöittää sitä tuomalla näkymään lisää sisältöä (Emspak 2018). Tämä tapahtuu siten, että puhelin tai muu päätelaite skannaa ensin ympäristönsä ja tunnistaa referenssipisteet. Näihin pisteisiin ja päätelaitteen positiontunnistustantureihin turvautuen lisätyn todellisuuden ohjelmisto sitten prosessoi kuvaan lisätyn todellisuuden elementtejä, joiden varjot ja muodot käyttäytyvät aidolla tavalla, aivan kuin objekti olisi oikeasti tilassa.

Lisätty todellisuus on reaaliaikaista, joten se vaatii päätelaitteilta suorituskykyä ja tarkkoja paikannusmenetelmiä. Koska käyttökohteet ovat moninaiset, myös eri tilanteet kattavia toteutusmuotoja on oltava paljon. Paikannus voi olla erillisiin merkkeihin, puhtaasti ympäristön geometriaan tai ulkoisiin paikantimiin perustuvaa. Lisättyä todellisuutta pidetään usein jonkinlaisena futuristisena teknologiana, mutta todellisuudessa sen nykymallia muistuttavia käyttökohteita on ollut jo viime vuosikymmenellä. (Siltanen 2012.)



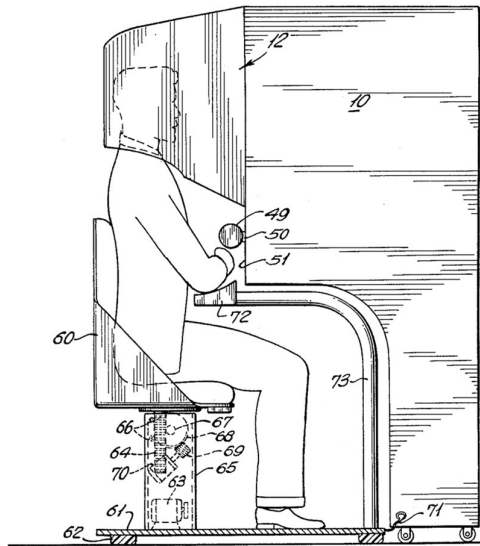
Kuva 1. Piirros lisätyn todellisuuden toiminnasta mobiililaitteella (Petrus Palola 2020).

Nykyisin lisätty todellisuus on jo osa arkeamme, vaikka emme sitä välttämättä edes huomaa. Tavallisille kuluttajille kaikkein tutuimpia käyttökohteita ovat erilaisissa sosiaalisen median kanavissa saatavilla olevat kuvakehykset ja tehosteet. Mobiiliapplikaation painiketta painamalla käyttäjän päähän voi ilmestyä vaikkapa hattu ja viikset tai hänen kasvonsa voivat muuttua erimuotoisiksi. Myös pelit ovat tuoneet nykytekniikan hienoudet helposti ulottuville; esimerkiksi maailmanlaajuisesti suosittu Pokémon Go –mobiilipeli hyödyntää lisättyä todellisuutta sijoittamalla erilaisia virtuaalisia osia ympäröivään maailmaan (Anderton 2016).

Lisäksi monelle jo tuttuja ovat myös erilaisissa live-tapahtumissa ja konserteissa käytettävät, katsojan oman päätelaitteen läpi katseltavat lisätyn todellisuuden hahmot sekä televisiolähetyksissä käytettävät kolmiulotteiset grafiikat ja tehosteet. Usein lisätty todellisuus on toteutettu niin hyvin ja huomaamattomasti, etteivät kuluttajat pysty erottamaan oikeata ja virtuaalista.

2.2 Historia

Ensimmäisenä lisätyn ja virtuaalisen todellisuuden laitteena voi pitää Morton Heiligin vuonna 1957 keksimää Sensorama-laitetta. Kolmiulotteisia kuvia näyttänyt laite simuloi näön lisäksi myös muita aisteja hajuilla ja äänillä. (Mealy 2019.)



Kuva 2. Piirros Sensorama-laitteesta (Google Patents 2020).

Vuonna 1968 Harvardin yliopiston professori Ivan Sutherland kehitti yhdessä oppilaansa Bob Sproulin kanssa laitteen nimeltä Sword of Damocles. Eräänlaisen lisätyn todellisuuden laite koostui käyttäjän päähän kiinnitettävästä näytöstä, joka roikkui katosta. Käyttäjä näki tietokoneella luotuja alkukantaisia grafiikoita yhdistettynä ympäröivään maailmaan. (Barnard 2019.) Tämä nykyihmisen näkökulmasta alkukantainen viritys oli lähempänä virtuaalista kuin lisättyä todellisuutta, mutta se oli tärkeä merkkipaalu myös lisätyn todellisuuden tekniikoiden kehityksessä. Seuraava kehitysaskel oli Myron Kruegerin vuonna 1974 julkaisema projekti nimeltä Videoplace. Se käytti heijastusjärjestelmää ja videokameroita, jotka tuottivat seinille varjoja. Järjestelmä oli käyttäjille interaktiivinen. (Barnard 2019.)

Vuonna 1990 Boeing-lentokoneyhtiön tietokonepalveluiden tutkija Tom Caudellia pyydettiin kehittämään korvaava ratkaisu lentokoneiden kaapelointiohjeina toimineiden suurten vanerilevyjen tilalle. Ratkaisuksi Caudell kehitti kollegansa David Mizelin kanssa ihmisen päähän kiinnitettävän näytön, joka "päälleliimasi" kaapelointiohjeet ja -reitit

asentajien näkökenttään. Tämä mahdollisti monikäyttöiset ja uudelleenkäytettävät kaapelointilevyt, kun aiemmin jokaiselle lentokonetyypille piti olla omat kaapelointilevynsä. Tämän keksinnön ansiosta monimutkaiset ohjeet kulkivat nyt asentajien mukana. Caudell ja Mizell nimesivät teknologian lisätyksi todellisuudeksi. (Metz 2014.)

Vuonna 1992 USAF Armstrong Research Labin tutkija Louis Rosenberg kehitti ensimmäisen nykyajan applikaatioita muistuttavan lisätyn todellisuuden järjestelmän, joka sai nimekseen Virtual Fixtures. Käyttäjään kiinnitettäviä robottikäsiä hyödyntänyt järjestelmä asetti virtuaalisia objekteja tehdastyöntekijöiden työympäristöön heidän työtehonsa lisäämiseksi. Muuten fyysisesti liian raskaat tehtävät olivat mahdollisia tämän keksinnön ansiosta. Kaksi vuotta myöhemmin eli vuonna 1994 sai ensi-iltansa ensimmäinen lisättyä todellisuutta hyödyntänyt teatteriesitys ”Dancing in Cyberspace”. Siinä tanssijat tanssivat virtuaalielementtien sisällä ja ympärillä. (Isberto 2018.)

Vuonna 1996 amerikkalainen Rick Cavallaro kehitti järjestelmän, joka pystyi seuraamaan jääkiekkopelissä kiekkoa ja lisäämään sen päälle sinisen erikoistehosteeseen. Näin katsojia autettiin pysymään paremmin selvillä siitä, missä kiekko kulloinkin oli. Tämä FoxTrax-nimen saanut teknologia ei noussut suureen suosioon, mutta johti Sportsvision-tuotantoyhtiön perustamiseen vuonna 1998. Yhtiö toteutti kehittämällään ”1st&Ten” -tietokonejärjestelmällä ensimmäisen virtuaalisesti televisiolähetyskseen lisätyn viivan kuvaamaan amerikkalaisen jalkapallojoukkueen hyökkäyksen etenemistä. Tästä peliä hyvin visualisoivasta järjestelmästä tuli suuri menestys NFL-liigan loppuottelussa Super Bowlissa. Sittenkin kyseisestä viivasta on tullut arkipäivää kaikissa suurissa amerikkalaisen jalkapallon ammattilais- ja opiskelijapeleissä Pohjois-Amerikassa. (Today's Engineer 2010.)

Itse asiassa idea virtuaalisten linjaviivojen lisäämisestä televisiolähetyskseen syntyi ja patenttoitiin jo vuonna 1978. Tuolloin idea tyrmättiin, sillä yleisön ei ajateltu olleen vielä valmis uuden teknologian edessä. Toinen Sportsvisionin suureen suosioon noussut lisätyn todellisuuden järjestelmä on RACEf/x, joka lisäsi NASCAR-autokilpailuissa autojen päälle virtuaaliset liput helpottamaan niiden etenemisen seuraamista kotisohvilta. (Warren 2016.)

Vuonna 1999 Yhdysvaltain ilmailu- ja avaruushallintavirasto NASA kehitti X-38-miehistönpalautusavaruusalukseen lisätyn todellisuuden järjestelmän, joka projisoi lentäjälle

elintärkeät informaatiot suoraan tämän näkökenttään. Virtuaalinen mittaristo oli interaktiivinen ja mukaili lentäjän liikkeitä. Vuonna 2000 Japanin tiede- ja teknologiatieteiden instituutissa Narassa työskennellyt Hirokazu Kato kehitti ARToolKit-ohjelmiston, joka pystyi taltioimaan ympäröivän maailman liikkeitä ja muutoksia sekä yhdistämään ne interaktiiviseksi tanssiksi virtuaalielementtien kanssa. Ohjelmiston julkaisu mahdollisti yhä useamman kiinnostuneen tutustumisen lisättyyn todellisuuteen ja aloitti siihen asti kokeellisena pysyneen teknologian vakiintumisen kuluttajien arkeen. (Isberto 2018.)

Tämän murroksen jälkeen lukemattomat toimijat media-alalla alkoivat kehittää omia järjestelmiään. Niin televisio-, mainos- kuin puhelinyhtiötkin alkoivat suunnitella uusia käyttökohteita ja sovelluksia, kun lisätyn todellisuuden mahdollisuuksia alettiin pikkuhiljaa ymmärtämään. Teknologian kehittyessä ja yleistyessä myös yhä useammalla kuluttajalla oli mahdollisuus tutustua lisätyn todellisuuden maailmaan.

3 Käytännön sovelluksia

Tässä luvussa esittelen erilaisia havainnollistavia esimerkkejä lisätyn todellisuuden käytöstä.

3.1 Lisätyn todellisuuden teatteritekstitys

Lontoon kuninkaallisessa kansallisteatterissa otettiin vuonna 2018 käyttöön uusi innovatiivinen järjestelmä helpottamaan erityisesti kuulorajoitteisten katsojien teatterikokemusta. Keksinnön taustalla oli se, että teattereissa tekstitys on perinteisesti hankala toteuttaa, sillä näyttämöaukon päällä sijaitsevan kuvaruudun jatkuva vilkuilu häiritsee katsomiskokemusta. Teatteri ratkaisi ongelman hyödyntämällä lisättyä todellisuutta. Niinpä katsoja voi näytökseen tullessaan lunastaa ilmaiseksi käyttöönsä älylasit, jotka projisoivat näytelmätekstityksen suoraan hänen näkökenttäänsä. Halutessaan kukin katsoja voi säätää tekstin kokoa, sijaintia, väriä ja kirkkautta itselleen parhaiten sopivaksi. Lisätyn todellisuuden avulla tekstityksen voi nähdä esteettömästi millä tahansa teatterin kolmesta näyttämöstä ja miltä tahansa istuimelta. (Royal National Theatre 2019.)

Lontolaisteatteri pilotoi tätä lisätyn todellisuuden applikaatiota yritys yhteistyössä Epsonin ja Accenturen kanssa. Epsonin BT-350 lisätyn todellisuuden lasit ja Accenturen Open Access Smart Capture -järjestelmä mahdollistivat reaaliaikaisen tekstityksen teatteriesityksissä (Boyle 2017).

3.2 Vesalan AR-konsertti

Suomalainen artisti Vesala käytti konsertissaan lokakuussa 2019 ensimmäistä kertaa lisättyä todellisuutta. Yleisö pystyi lataamaan omille puhelimilleen sovelluksen, joka konserttipaikka Hartwall-areenan verkkoon liittymisen jälkeen näytti musiikkiin tahdistettua ja lavaan kiinnitettyä grafiikkaa. Lisättyä todellisuutta käytettiin koko konsertin ajan, ja sen käytöstä kerrottiin lavan viereen asennetuilla suurilla näytöillä. Puhelimella pystyi katselemaan välkkyvää happosadetta, värikkäitä pilviä, taustanäytön takaa tulevia mus- tekalan lonkeroita tai uiskentelevia meduusoja. Puhelimien näytöt myös välkkyivät eri väreissä joidenkin kappaleiden aikana. (Vedenpää 2019.)

Vaikka konserteissa suuri osa yleisöstä jo taltioi ja katsoo konserttia oman kännykkäka- meransa läpi kuvaten, ei Vesalan konsertin paljon ennakohehkutusta kerännyt appli- kaatio kerännyt vielä suurta suosiota. Kokeilu oli kuitenkin askel tulevaisuuteen, ja artisti on ilmoittanut jatkavansa teknologian kokeilua ja käyttöä vastedeskin. (Vedenpää 2019.)



Kuva 3: Kuvakaapaukset Vesalan AR-aplikaatiosta konsertin aikana (Laura Olin, ks. Vedenpää 2019).

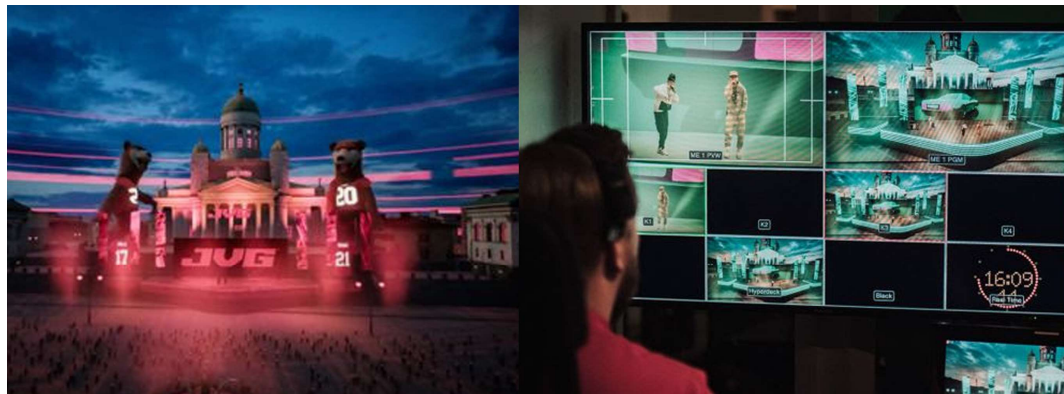
3.3 JVG:n Ikuinen Vappu -virtuaalikonsertti

Keväällä 2020 alkanut koronaepidemia ja sen aiheuttamat rajoitukset ovat antaneet uutta vauhtia virtuaali- ja lisätyn todellisuuden hyödyntämiselle teatteri- ja esitystekniikan applikaatioissa. Tärkeä merkkipaalu oli, kun Suomen suosituin popyhtye JVG järjesti vappuaattona 2020 virtuaalisen konsertin Senaatintorilta. ”Meillä on edessä hyvin erilai-

nen vappu, jonka tulemme viettämään toisistamme erillään. Vaikka emme ole fyysisesti yhdessä, voimme silti iloita vapusta yhteisönä, henkisesti yhdessä”, JVG kommentoi suunnitelmaa tiedotteessa. (Helsingin kaupunki 2020.)

Yleisö pääsi konsertissa liittymään Unreal Engine -pelimoottorissa pyörineeseen 3D-maailmaan omilla päätelaitteillaan, eikä VR-laseja tarvittu. ”Jokainen keikalle kirjautunut voi valita itselleen avattaren ja hyvällä onnella nähdä itsensä tanssimassa virtuaalisella torilla keikan yleisössä.” Helsingin kaupungin tiedotteessa (23.4.2020) todettiin. Tämä innovatiivinen ratkaisu ei varmasti jää sarjassaan viimeiseksi, vaan saattoi olla näyttävä päänavaus tekniikan entistä laajemmalle käytölle.

Pienistä epätarkkuuksista huolimatta konsertti sai yleisesti ottaen myönteiset arviot ja sillä oli satojatuhansia katsojia. ”Etästudioissa esiintyneet, digiympäristöön istutetut räppärit kuulostivat ja näyttivät samalta kuin tavallisilla festarilavoillakin, vaikka teknologia välillä litistikin kaksikkoa vähän hassusti ja kuva oli läheltä katsottuna suttuinen”, kirjoitti Ylen toimittaja arviossaan. (Vanha-Majamaa 2020.)



Kuva 4. Kuvakaappaukset JVG:n virtuaalikonsertista (Zoan 2020).

3.4 Opera Beyond -projekti Suomen Kansallisoopperassa

Keväällä 2019 Suomen kansallisooppera ilmoitti käynnistävänsä aivan uudenlaisen, perinteisen näyttämökokemuksen ulkopuolelle sijoittuvan produktion, joka hyödyntäisi immersiiivistä teknologiaa. Kansallisoopperan tiedotteen (22.2.2019) mukaan ”viiveettömät 5G-verkot, virtuaalitodellisuus ja lisätty todellisuus ovat uudenlaisten taidekokemusten ja immersiiivisyyden avainteknologiat.” Kansallisooppera ja –baletti alkoivat suunnitella yh-

teistyössä säveltäjä Esa-Pekka Salosen ja dramaturgi Paula Vesalan kanssa festivaaleille ja kiertueille tarkoitettua teosta, jonka toteutustapaa lähdettiin hakemaan kansainvälisen kilpailun kautta. Siinä määriteltiin, että teos voitaisiin toteuttaa esimerkiksi immerssiivisenä tilainstallaationa, virtuaalitodellisuuspelinä tai interaktiivisena lyhytelokuvana. (Suomen kansallisooppera 2020.)

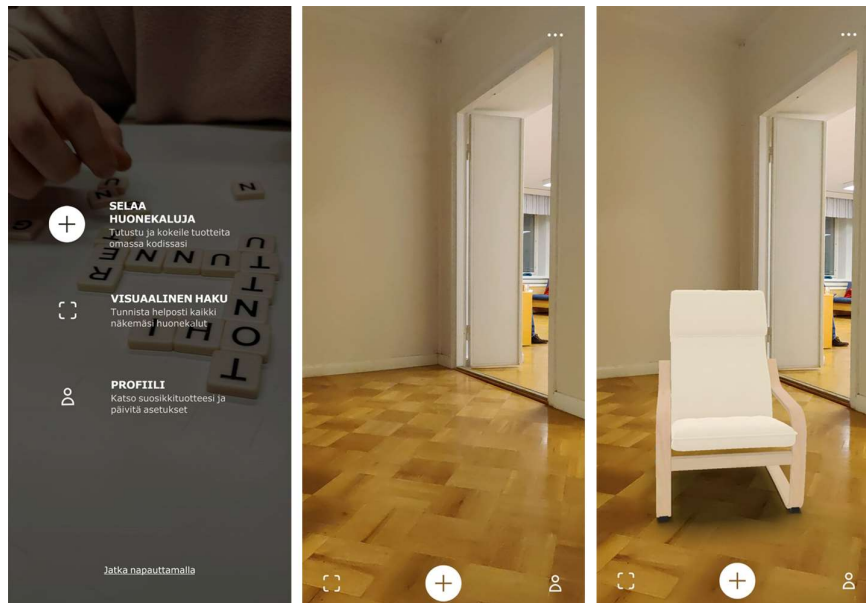
Toteutettava teos on osa Kansallisoopperan ja -baletin kunnianhimoista Opera Beyond –projektia, joka tähtää elämyksellisyyden lisäämiseen ja uusien teknologisten mahdollisuuksien parempaan hyödyntämiseen esittävässä taiteessa, erityisesti oopperassa ja baletissa. Kiinnostuksesta uudenlaisen tekniikan käyttöön taidetuotannoissa kertoo se, että kilpailuun saapui kaikkiaan 195 hakemusta 32 eri maasta. Tuloksena monialaisesta luovasta työstä on syntymässä teos ”Laila”, joka kutsuu yleisön muokkaamaan omaa todellisuuttaan yhdessä tekoälyn kanssa. Tämän interaktiivisen teoksen ensi-ilta on tarkoitus olla syksyllä 2020, ja luvassa on ennakkotietojen mukaan perinteiset esittävän taiteen roolit hylkäävä, jokaisella esityskerralla erilainen digitaalisen maailman avaava taide-elämys, jota yleisö osaltaan muokkaa siihen osallistumalla. (Opera Beyond 2020.)

3.5 Ikea Place

Huonekaluliike Ikea julkaisi syyskuussa 2017 Place-nimisen sovelluksen IOS-mobiililaitteille. Lisättyä todellisuutta hyödyntävä sovellus rakennettiin Applen uudella ARKit-ohjelmistokehitystyökalukokoelmalla, joka julkaistiin IOS11-käyttöjärjestelmän yhteydessä. Kun Google julkaisi vastaavan kokoelman ARCoren maaliskuussa 2018, Ikea julkaisi version sovelluksesta myös Android-käyttöjärjestelmille. Sisustusta ja kuluttajien ostopäätöksiä helpottamaan suunniteltu työkalu täyttää käyttäjän niin halutessa myös hänen ostoskorinsa verkkokaupassa. (Tapala 2018.)

Tämä ominaisuuksiltaan ja asetuksiltaan hyvin rajattu sovellus kykenee myös skannaamaan kuluttajalla jo ennestään olemassa olevia kalusteita ja tarjoaa automaattisesti väri- ja rakennemaailmaltaan niiden kanssa samantyyllisiä Ikean kalusteita. Nopean huoneskannauksen jälkeen voi sovelluksen painikkeella lisätä huoneeseen Ikean huonekaluja, joita on tarjolla yli 3000 kappaletta. Huonekalujen skaalaus ja varjot toimivat lähes moitteetta ja elementit pysyvät hyvin paikallaan, vaikka kameraa liikuttaa voimakkaasti. Maksuttomalla sovelluksella voi myös ottaa kuvan uusista virtuaalisista kalusteistaan ja jakaa sen muiden kanssa. (Ikea 2017.)

Ikea Place on esimerkki lisätyn todellisuuden sovelluksesta, joka voi tarjota monia mahdollisuuksia myös esitys- ja teatteriteknikan alueella. Joskus rajattu ja ominaisuuksiltaan vaatimatonkin sovellus voi olla erittäin voimakas ja toimiva väline ilmaisun ja elämyksellisyyden lisäämiseen. Tuotantoyhtiöt ja teatterit voivat tulevaisuudessa hyödyntää lisättyä todellisuutta esimerkiksi uusia teoksia ja niiden lavastusta suunniteltaessa. Näin vältytään aikaa vievien pienoismallien käytöltä. Lavastuksen mittasuhteiden ja lavalle sopimisen varmistaminen on entistä helpompaa, kun lavastajat ja näyttelijät voivat kävellä lavasteiden sisään jo ennen niiden rakentamista. Myös harjoituksissa voidaan tarvittaessa käyttää pelkästään virtuaalilavastusta ja näin nopeuttaa tuotantoprosesseja.



Kuva 5. Kuvakaappaukset Ikea Place -sovelluksesta (Petrus Palola 2019).

3.6 Eduskuntavaalit 2019, Ylen tuloslähetys

Yleisradion vaalilähetykset ovat yksi kaikkein seuratuimmista tv-ohjelmista Suomessa. Vuoden 2019 eduskuntavaalien tuloslähetys keräsi 1,3 miljoonaa suomalaista television ääneen (Martikainen 2019). Perinteikäs konsepti hyödynsi tuolloin ensimmäistä kertaa lisättyä todellisuutta. Studioissa oli normaalit kalusteet, mutta kotikatsojat näkivät lähetyksessä tietokonegeneroituja elementtejä. Lähetyksessä käytettiin lisätyn todellisuuden elementteinä yksinkertaista pylväsgrafiikkaa, hallituspelin voimasuhteita konkretisoivia shakkinappuloita, paikkajaon puoluejakaumaa sekä ilmassa leijuvia lippuja ja ehdokas-

kortteja. Tekniikan ideana oli elävöittää lähetystä ja samalla tuoda tulos helposti nähtävälle. Lisätyn todellisuuden avulla voidaan näin välttyä koko ruudun grafiikoiden käytöltä. Lähetystä on miellyttävämpi katsoa, kun ruudussa tapahtuu koko ajan. (Terävä 2019.)



Kuva 6. Kuvakaappauksia vaalilähetyksestä (Yleisradio 2019).

3.7 Boeing 747-lentokoneen kaapelointi

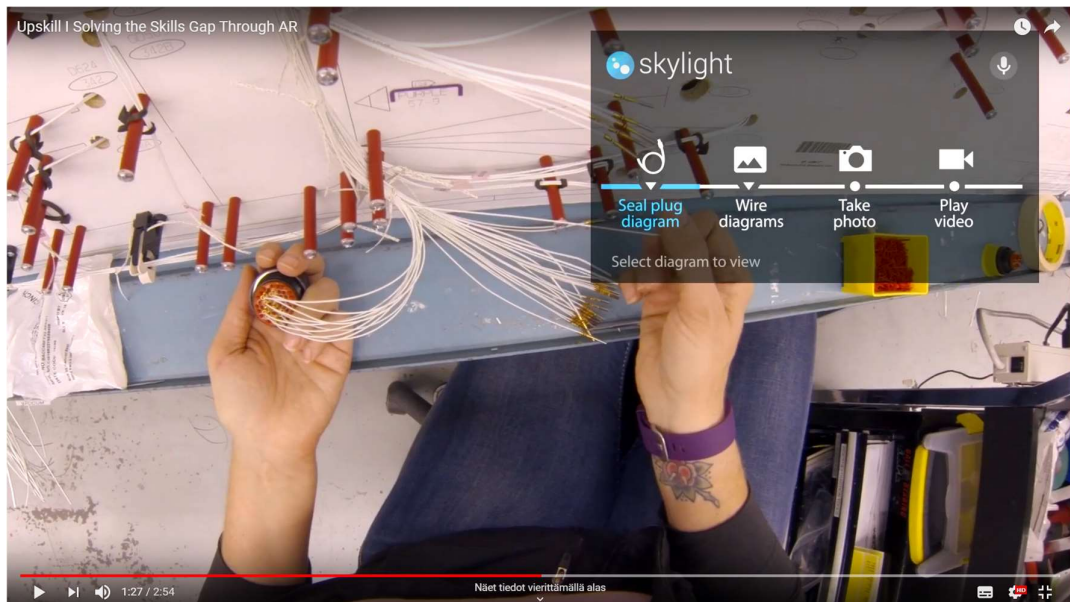
Boeing on todellinen pioneeri lisätyn todellisuuden saralla, ja siksi on perusteltua ottaa se esiin lisätyn todellisuuden mahdollisuuksia kuvatessa. Yhtiö alkoi käyttämään lentokoneiden kaapelointia helpottavaa järjestelmää jo vuonna 1990 (Isberto 2018). Koska lentokoneen kaapelointi vaatii kymmeniätuhansia tunteja työtä ja yli 200 kilometriä kaapelia, on jokainen säästetty minuutti arvokas. Jokaisella Boeingin koneella on oma monimutkainen konfiguraationsa ja kaapelointijärjestelmänsä. Aiemmin asentajat katsoivat työpisteillään kannettavilta tietokoneilta ohjeet työtään varten. Jatkuva tietokoneruutujen vilkuilu ja keskittymisen herpaantuminen suuria kaapeliasetelmia tehdessä hidasti työtahtia ja edesauttoi virheiden syntymistä. (Upskill 2018.)

Valtavaa työmäärää helpottaakseen ja työtä nopeuttaakseen Boeing otti käyttöön älyla-seja ja Skylight-nimisen alustan yhteistyössä Upskill-nimisen yrityksen kanssa. Boeing aloitti pilottiprojektin, jossa kannettavat tietokoneet ja paperiset ohjeet korvattiin lisätyn todellisuuden sovelluksella. Skylight-sovellus skannaa jokaisen kaapelin viivakoodin ja

antaa sen perusteella tarkan kytkentä- ja asennusohjeen suoraan asentajan näkökenttään sekä huolehtii kaapeleiden inventaariosta. Käyttäjät voivat ohjata Skylightia äänellä ja pään liikkeillä. Näin kädet vapautuvat ja tehokkuus paranee. Jos asentajat kohtaavat ongelman, he voivat ottaa suoran kuvayhteyden insinööreihin, olivat nämä missä tahansa. Älylasit näyttävät tarvittaessa myös ohjevideoita asentajien työn helpottamiseksi. (Boeing 2018.)

Skylightin avulla Boeing lyhensi kaapeloinnin valmistusaikaa neljänneksellä. Samalla virhemarginaali putosi lähelle nolaa. Näiden tulosten rohkaisemana yritys pyrkii tulevaisuudessa kehittämään vastaavanlaisia lisätyn todellisuuden sovelluksia muihinkin tuotantolinjoihinsa. (Upskill 2018.)

Boeingin esimerkki antaa paljon ajateltavaa myös esitys- ja teatteritekniikan alalle. Esimerkiksi vierailevien teknikoiden perehdytystä voitaisiin olennaisesti helpottaa ja tehostaa vaikkapa virtuaalilasien avulla. Tämä voisi lisätä myös tuotantojen laadunvarmistusta ja vähentää puutteellisesta tiedonkulusta johtuvia virheitä. Aiemmin vain yhden ihmisen tiedossa olleet yksityiskohdat ja vinkit olisivatkin myös kokemattoman korvaajan omaksettavissa. Tästä olisi esimerkiksi sairastapauksen sattuessa paljon hyötyä.



Kuva 7. Kuvakaappaus Upskillin sivuilta 2020.

3.8 Le Chat Doré -virtuaaliteos

Kieltolain aikana, vuonna 1929 perustettu kahvila, Le Chat Doré herätettiin henkiin lisätyn todellisuuden avulla Amos Rex -taidemuseossa Helsingissä. Birger Carlstedtin suunnittelema kahvilan sisustus oli aikansa sensaatio, sekoitus art decoa ja funktionalismia. Sittemmin siitä on muodostunut suomalaisen taiteen ikoni. Carlstedtin elämäntyöstä ker-tonut Amos Rexin näyttely piti sisällään luonnollista kokoa olevan virtuaalisen jäljennök-sen Le Chat Dorésta. Vierailija pystyi skannaamaan lattiassa olevan kuvion omalla mo-biililaitteellaan, jonka kautta avautui virtuaalinen ikkuna kauan unohduksissa olleeseen kahvilaan. Huoneessa pystyi katselemaan ympärilleen, ihaillemaan Carlstedtin maalauk-sia ja muita huolella 3D-mallinnettuja yksityiskohtia. (Gullichsen 2019.)

Tämän virtuaalisen huoneen mallinnuksessa hyödynnettiin siitä jäljellä olevia valokuvia ja maalauksia. Paljon kiitosta ja kävijöitä keränneen uudenlaisen teoksen loi lisätyn to-dellisuuden toteutuksiin erikoistunut suomalainen yritys Arilyn. Amos Rexiin luotu taide-kokonaisuus osoitti hyvin, että perinteisen näyttelyn ja lisätyn todellisuuden applikaation yhdistäminen sopii hyvin nykypäivän kuluttajille. Hybridinäyttelyt palvelevat kaikenlaisia kävijöitä, niin tuttua kiertokävelyä, kuin uusia kokemuksia odottavia taiteenkuluttajia. (Gullichsen 2019.)



Kuvat 8–10. Kuvakaappauksia Arilynin Vimeo-videosta (Arilyn 2019).

4 Ohjelmistoesimerkkejä

Tässä luvussa käsittelen keskeisiä lisätyn todellisuuden sovelluksia sekä paljon käytettyjä ohjelmistoja ja niiden tarjoamia mahdollisuuksia. Toteutustapoja on yhtä monta kuin tekijöitäkin, joten nostan seuraavassa esiin vain käytetyimpiä toteutusmalleja ja mahdollisuuksia.

4.1 Google Augmented Reality

Google julkaisi Project Tango -nimellä kulkeneen lisätyn todellisuuden alustan vuonna 2014. Sovellus käytti yhteensopivien puhelinten aikaleimoja tuottavia asento- ja kiihtytysensoreita sekä liikettä seuraavaa kameraa. Alusta toimi ainoastaan tiettyjen puhelinten kanssa. (Pensworth 2020.)

Tämä ensimmäinen mobiililaitteille kehitetty sovellus oli vielä kömpelö ja epätarkka. Myöskään silloisten puhelinten suorituskyky ei ollut riittävä ympäristöntunnistuksen ja lisätyn todellisuuden laadukkaaseen käyttöön. Googlen suunnitelma tuoda markkinoille ja massatuotantoon lisätyn todellisuuden puhelin ei näistä syistä toteutunut. Joitakin kulluttajaversioita kyllä ilmestyi kauppojen hyllyihin, mutta ne vaativat erikoissensoreita toimiakseen. (Burke 2017.)

Loppuvuodesta 2017 Google ilmoitti lopettavansa Tango-alustan kehittämisen ja keskittävänsä kaikki voimavaransa uuteen, nykyajan vaatimukset täyttävään ja huomattavasti monikäyttöisempään ARCore-alustaan (Kasternakes 2017). Androidille optimoitu alusta toimii sovellusliitäntäisten kautta myös Unity, Unreal ja iOS-työkalujen kanssa. Toisin kuin edeltäjänsä Project Tango, ARCore ei vaadi laitteeseen mitään ulkoisia sensoreita. Työkalu ymmärtää puhelinta ympäröivän tilan käyttämällä sisäänrakennettuja sensoreita ja kameraa havaitsemaan ja erottelemaan ympäristön tärkeät yksityiskohdat. Puhelinten suorituskyvyn yhä parantuessa ja paikannustarkkuuden kasvaessa alusta mahdollistaa käyttäjän yhä paremman interaktion virtuaaliobjektien kanssa. Tämä avaa lähes rajattomat mahdollisuudet lisätyn todellisuuden kehitykselle ja soveltamiselle eri alueilla. (Google 2020.)

4.2 Apple Augmented Reality

Teknologijätti Apple julkaisi sovelluskehityskonferenssissaan kesäkuussa 2017 uuden tuotteen. Tämä ARKit-nimeä kantava sovelluskehitysalusta tarjoaa tarkkaa paikannustietoa jopa kolmesta ihmisestä samanaikaisesti. Tämä syvyysymmärrys mahdollistaa virtuaaliobjektien interaktiivisen toiminnan ja niiden ympäri kävelemisen, joka antaa paljon lisää mahdollisuuksia teknologian käyttöön. Sovelluskehittäjät voivat käyttää tätä dataa grafiikoiden ja virtuaaliobjektien sijoittamisessa tiettyyn paikkaan. (Robertson 2017.)

Käyttölogiikaltaan muita yksinkertaisemmaksi ja intuitiivisemmaksi markkinoitu työkalu mahdollistaa aidossa kolmiulotteisessa tilassa työskentelyn ja myös tarkan tilahahmottuksen. Tavaroita voi siis kiinnittää puhelimen tai tabletin kameran näkymään ikään kuin oikeita vastineitaan. Kehitysalusta toimii ainoastaan Applen omilla laitteilla, ja se koostuu useammasta eri sovelluksesta sisältäen kaiken tarvittavan lisätyn todellisuuden erilaisten applikaatioiden luomiseen. (Apple 2020.)



Kuva 11. Kuvakaappaus Applen lisätyn todellisuuden sivuilta, Reality Composer -suunnitteluohjelmistosta (Apple 2020).

4.3 Snapchat Lens Studio

Joulukuussa 2017 sosiaalisen median pikaviestinpalvelu Snapchat julkaisi Lens Studio-nimisen työkalun, jonka avulla kuka tahansa pystyy luomaan Lens-tehosteita koko palvelun käyttäjäkunnalle. Työkalun avulla pystyy luomaan puhelimen takakameralla käytettäviä ympäröivään maailmaan vaikuttavia lisätyn todellisuuden efektejä sekä etukameralla käytettäviä, kasvojen tunnistukseen perustuvia tehosteita. Työkalu on matalan kynnyksen suunnitteluohjelma, jolla niin kuvankäsittelijät kuin 3D-mallintajatkin pystyvät työstämään tehosteita Snapchat-palveluun ja jakamaan omat luomuksensa helposti eteenpäin. (Newton 2017.)

Työkalu pitää sisällään suuren määrän valmiita pohjia, joiden avulla tehosteita on helppo lähteä rakentamaan. Työkalu on ilmainen ja toimii Windows- ja Mac-käyttöjärjestelmien kanssa. Päivitysten myötä ohjelmisto tukee tiettyjen ympäristössä olevien maamerkkien paikantamista ja niiden ehostamista lisätyllä todellisuudella reaaliajassa. Työkalu tunnistaa esimerkiksi Pariisissa sijaitsevan riemukaaren ja New Yorkissa olevan vapaudenpatseen ja pystyy koristelemaan ne lisätyn todellisuuden elementeillä. (Technoing 2019.) Syyskuussa 2019 Snapchat julkaisi työkalusta uuden version. Sen myötä rajattu puhe- ja linvalikoima tarjoaa mahdollisuuden lisätä pikaviesteihin syvyysvaikutelmaa, ja käyttäjä pääsee ikään kuin lentämään ottamansa kuvan sisään. (B&T Magazine 2019.)



Kuva 12. Kuvakaappaus Snapchatin markkinointivideosta. Kuvassa Flatiron Building New Yorkissa Lens Studiolla luodun lisätyn todellisuuden kera (Snapchat 2019.)

4.4 Unreal Engine

Epic Gamesin vuonna 1998 Unreal-tietokonepeliä varten julkaisema pelimoottori toimii lähes kaikilla käyttöalustoilla ja on muokattavissa Windows-, OS X- ja Linux-alustoilla. C++-ohjelmointikielellä käytettävällä moottorilla on luotu satoja pelejä. Toisin kuin aiemmat opinnäytteessä käsitellyt ohjelmistoesimerkit, Unreal on suunniteltu raskaiden ja erityyppien korkealaatuisten virtuaalimaailmojen kehittämiseen ja työstämiseen, joten käyttöliittymää ei ole suunnattu peruskuluttajille. Näin ollen Unreal Enginen käyttäjäkunta koostuu pitkälti ammattilaisista ja tekniikkaan syvämmästä perehtyneistä harrastajista. (Unreal Engine 2020.)

Esimerkiksi jättisuosioon noussut, vuonna 2017 julkaistu selviytymis- ja roolipeli Fortnite on tehty Unreal Engine 4 -versiolla. Peliteollisuuden kehitysvauhti ei ole jäänyt muilta toimialoilta huomaamatta. Myös televisio on murrosvaiheessa, kun kuluttajien lineaarisen television käyttö vähenee tasaista vauhtia. Lisätty todellisuus onkin vahvasti mukana, kun lähetysten kiinnostavuutta yritetään lisätä. Unreal Engine tarjoaa monipuolisen ja tehokkaan alustan myös tv-alan tekijöille. Yhä useampi lisätyn todellisuuden toimittaja käyttääkin järjestelmissään Unreal Engineä tai sen sovellusliitännäistä. Unreal Engine on ladattavissa ilmaiseksi, mutta kaupallisesta käytöstä peritään lisenssimaksu. (Thomson 2012.)

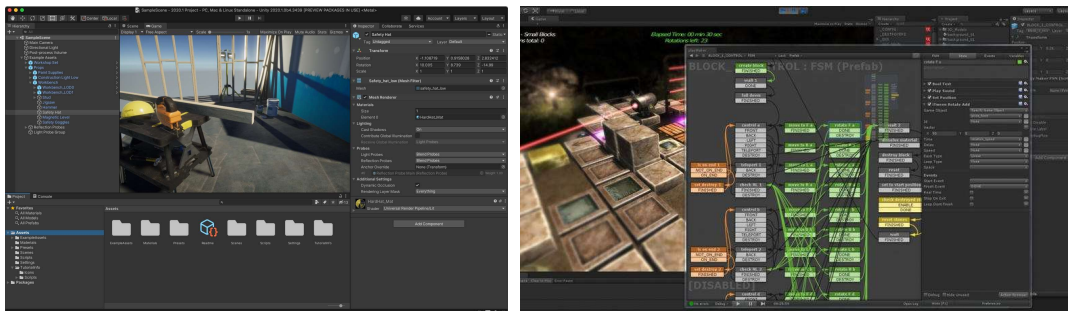


Kuva 13. Kuvakaappaukset Unreal Enginen Editor-ohjelmistosta (Unreal Engine 2020).

4.5 Unity

Unity Technologies -ohjelmistoyritys julkaisi Unity-pelimoottorin eksklusiivisesti Applen tietokoneille, OS X -käyttöjärjestelmälle vuonna 2005. Yritys halusi tuoda pelikehityksen työkalut käyttöön yhä useammalle tekijälle. Nykypäivänä Unity tukee yli 25 alustaa. Sovellus tarjoaa työkalut perinteisten kaksiulotteisten sekä vaativimpien kolmiulotteisten pelien suunnitteluun. Pelimoottorin ohjelmointikielenä toimii C#. Unityllä on tehty valtava määrä mobiili- ja tietokonepelejä ja erilaisia lisätyn todellisuuden sovelluksia. Esimerkiksi suuri osa Microsoftin HoloLens ja Samsung Gear VR -virtuaalitodellisuuslaseilla saatavilla olevista peleistä on tehty sillä. (Axon 2016.)

Unityn perustyökalut ovat saatavilla ilmaiseksi omaan ja pienten yritysten käyttöön. Edistyneemmät toiminnot ja luvan kaupalliseen käyttöön saa kuukausittaisella maksulla.



Kuva 14. Kuvakaappaukset Unity-pelimoottorin käyttöpinnasta (Unity 2020).

5 Empiirinen kokeilu lisätyn todellisuuden sovelluksesta

Tässä jaksossa esittelen, miten edellä kuvattuja ratkaisumalleja voi varsin yksinkertaisesti hyödyntää ja demonstroida. Käytän tässä apuna omaa käytännön kokemustani, sillä työskentelen parhaillaan yrityksessä, joka tarjoaa myös lisätyn todellisuuden palveluja.

5.1 Kokeilun lähtökohta

Työnantajani Broadcast Solutions Group järjesti vuoden 2019 marraskuussa ”Broadcast Innovation Day” -tapahtuman pääkonttorillamme Saksan Bingenissä. Minua pyydettiin luomaan pienen mittakaavan innovatiivinen ja asiakkaiden huomion kiinnittävä esimerkkijärjestelmä tapahtumaan. Tarkoitukseni oli esitellä edustamiamme brändejä ja niiden uusimpia tuotteita. Tapahtuman graafinen ilme ja yleistunnelma suunniteltiin mahdollisimman mukavaksi ja rennoksi. Tähän viitekehykseen sopivaksi suunnittelin myös oman esimerkkijärjestelmäni ja sen esittelyn.



Kuva 15. Tapahtuman kutsu ja kuva messuosastosta (Petrus Palola 2019).

5.2 Kokeilun järjestelmäkuvaus

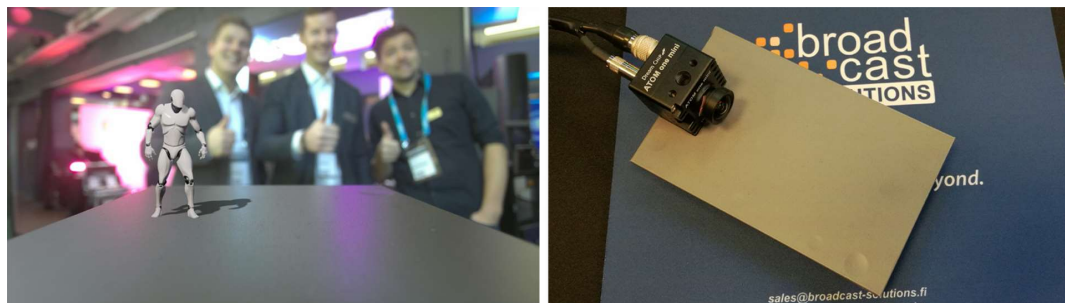
Kehittämäni järjestelmän suunnittelun perusteina olivat käytännön syistä kevyt paino, liikuteltavuus ja monipuolisuus. Käytettävä laitteisto oli näillä kriteereillä helppo valita. Käytössä ollut tila oli ainoastaan 2x2m, joten päädyin rakentamaan mahdollisimman pienen mittakaavan järjestelmän. Kameraksi valikoitui Dream Chipin Atom One mini -miniätyyrikamera, jota käytetään pääasiassa urheilutuotannoissa ja tosi-tv:ssä, usein pai-

koissa mihin perinteisen kokoluokan kamerat eivät yksinkertaisesti mahdu. Prosessointiin käytin Zero Density -virtuaali- ja lisätyn todellisuuden ohjelmistoyrityksen sertifioimaa laitteistoa. Konfiguraation pyrin tekemään mahdollisimman yksinkertaisesti ja asiakaslähtöisesti. Optimaalisen laitteiston valinta vaatii perehtyneisyyttä ja innovatiivisuutta. Joskus oikean kombinaation löytyminen vaatii paljonkin aikaa ja useita kokeiluja, eikä rohkeudestakaan ole haittaa.

Tavoitteenani kaikissa valinnoissa oli, että kuka tahansa pystyisi kokeilemaan järjestelmää ja vaikuttuisi sen helppokäyttöisyydestä. Lisäksi tavoitteena oli tehdä esimerkkijärjestelmästä niin kevyt, että sitä voisi kuljettaa lentokoneen ruumassa, ja näin helpottaa asioiden hoitamista, lisätä toimitusvarmuutta ja vähentää kustannuksia.

Tein järjestelmästä prototyypin varmistuakseni idean toimivuudesta. Peitin alumiinilevyn harmaalla heijastamattomalla teipillä ja lisäsin siihen pienen telineen kameran kiinnitystä varten. Muut prototyypin komponentit olivat myös lopulliseen järjestelmään päätyneet Dream Chipin Atom One mini ja Zero Densityn prosessointiohjelmisto sertifioituine laitteistoineen.

Lähdin liikkeelle asettamalla alumiinilevylle virtuaalisen robotin, ja testasin ideani toimivuutta etukäteen esittelemällä sitä asiakkaillemme Ruotsissa Monitor Roadshow -tapahtumakiertueella syksyllä 2019. Palaute oli rohkaisevaa, joten päätin toteuttaa hieman pidemmälle viedyn version yhtiömme innovaatiopäivillä.



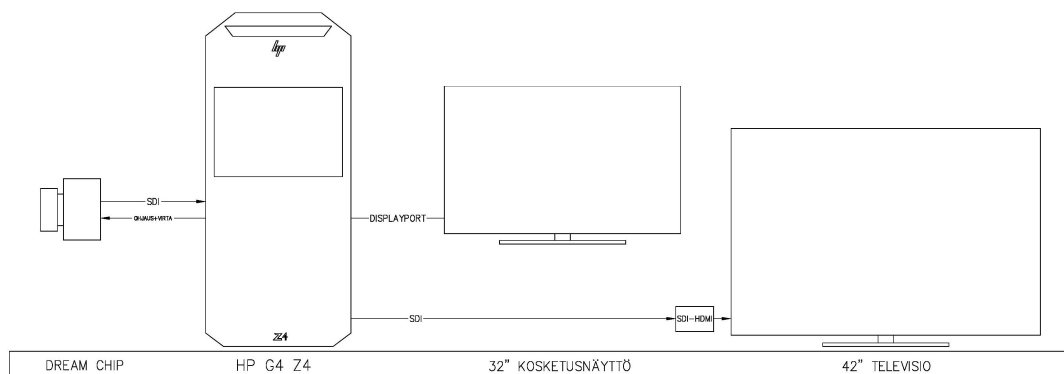
Kuva 16. Kuvat prototyypijärjestelmän prosessoidusta kuvasta ja kuva kamerasta (Petrus Palola 2019).

Järjestelmä koostui neljästä pääkomponentista, jotka ovat kamera, tietokone ja kaksi näyttöä, toinen tietokoneelle ja toinen lopputuloksen katseluun. Jos kyseessä olisi useamman kameran järjestelmä, kaikki laitteet tulisi synkronoida toimimaan samassa tahdissa ulkoisella pulssigeneraattorilla. Näin pienen järjestelmän kanssa ei tätä ongelmaa

synny, kun siinä voidaan lukkiutua kameralta saatavaan signaaliin ja säästää näin sekä kustannuksissa että painossa.

Järjestelmässä käyttämäni tietokone oli HP Z4 G4-serveri Zero Densityn sertifioiduilla komponenteilla. AJA:n Corvid88-SDI-kortti tarjosi rajapinnan broadcast-tason videojake- lulle. Nvidia:n Quadro P6000-näytönohjain tarjosi riittävästi laskentatehoa vaativillekin virtuaalimaailmoille. Prosessorina Intel Xeon W-2133, RAM-muistia 32 GB ja tallennus- mediana nopea 256 GB M.2 SSD-koval levy. Kameran SDI-kaapeli kytkeytyi AJA:n video- korttiin ja USB-kaapeli tietokoneeseen. Kameran värikorjauksen ohjaus hoitui Dream Chipin omalla ohjausohjelmistolla. Zero Densityn Reality-virtuaali- ja lisätyn todellisuus- den ohjelmisto huolehti prosessoinnista ja grafiikkojen suunnittelusta.

Kuljetuslaukuksi valitsin Peli 1610-tarvikelaukun vetopyörillä ja -kahvalla. Vaikka sisällön ehjänä pysyminen oli tärkeintä, oli laukun oltava myös helposti liikuteltavissa ja tarvitta- essa myös lukittavissa. HP Z4-serverin lisäksi laukkuun mahtuu esimerkkijärjestelmän pieni Dream Chipin kamera, näppäimistö, hiiri ja erikoisohut näyttö. Tällä peruslaitteis- tollakin toiminnot ja niiden esittely onnistuvat, mutta toki ulkoiset näytöt tuovat lisää käyt- tömukavuutta. Ulkoiset näytöt mahdollistavat sen, ettei asiakkaita tarvitse pyytää keräy- tymään ahtaasti pienen näytön ympärille.



Kuva 17. Esimerkkijärjestelmän kytkentä- ja laitteistokaavio (Petrus Palola 2019).

Prototyypissä käyttämäni mattapintainen levy osoittautui hyväksi alustaksi kameralle. Lopulliseen järjestelmään päädyin käyttämään kolmea metallireunaista valokuvake- hystä. Niiden sisään lisäsin värilliset pahvikerrokset: pieniin, ikkunoina toimineisiin ke- hyskiin vihreää ja alustana toimineeseen A4-koon kehukseen harmaata. Vihreä korvattiin

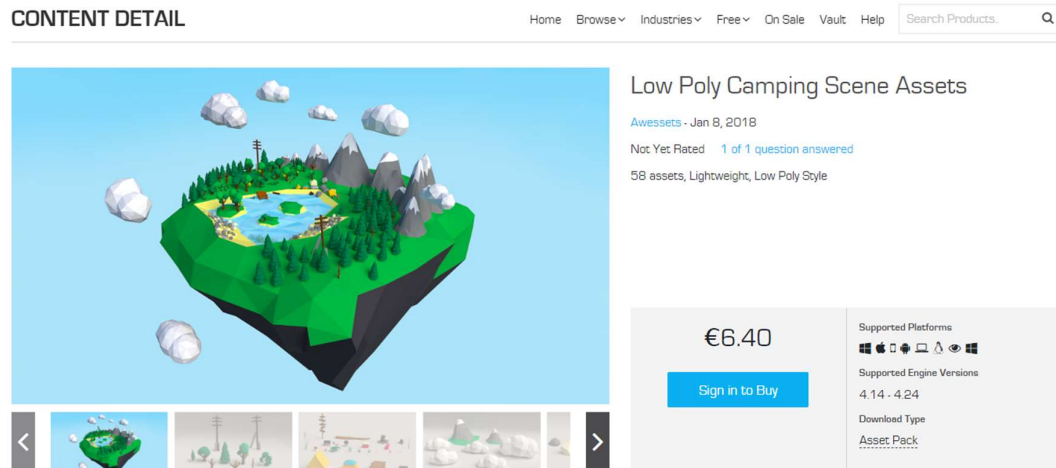
virtuaalimaailmalla, heijastamaton harmaa taas toimi hyvänä alustana lisätyn todellisuuden elementeille. Harmaa pinta on turvallinen ratkaisu myös haastavissa valaistusolosuhteissa.

Kameralle kiinnitin pienen telineen suuren kehyksen reunaan. Kameran position säätö on millintarkkaa. Virtuaalielementtien varjojen ja paikoituksen onnistumiseksi kamera on saatava täsmälleen samaan paikkaan kuin ensimmäisellä kalibroitokerralla. Kamerassa on ainoastaan staattinen tarkennus eli kuvan tarkennuspistettä ei voi säätää lennosta. Säädin tarkennuspisteen pystyssä seisoviin kuvakehyksiin, jotta kaikki kameran kuvassa näkyvä olisi tarkennettuna. Efektinä olisi voinut säätää Zero Densityn konfiguraatiossa, mutta ainakaan minun kokeilussani näin ei tarvinnut toimia.

5.3 Kokeilun virtuaalimaailma

Broadcast Innovation Day -visuaalinen ilme oli lähtökohtanani, kun suunnittelin kokeilujärjestelmän virtuaalista maailmaa. Graafisesti yksinkertainen ilme lumihuippuisine vuorineen ja leirinuotioineen oli haastava paikka. En ole 3D-suunnittelija, joten käytettävä maailma oli löydettävä vähintään puolivalmiina. Toisin kuin usein ajatellaan, 3D-maailmassa voi käyttää myös kaksiulotteisia elementtejä, jos ne vain asetetaan kameran linsin kanssa samansuuntaisesti. Tässä yksinkertaisessa esimerkkijärjestelmässä kamera oli staattinen, joten esimerkiksi innovaatiopäivien tunnuspölyn sain liitettyä virtuaalimaailmaan pelkkänä png-kuvana, eikä 3D-mallinnukselle ollut tarvetta.

Virtuaalimaailman toteutukseen käyttämäni Zero Density pohjautuu pelimoottori Unreal Engineen. Pelimoottori Unrealin internetsivuilla on kauppapaikka Unreal Marketplace, jossa on tarjolla suuri määrä erilaisia virtuaalimaailmoja ja -objekteja, osa ilmaiseksi, osa maksua vastaan. Löysin kauppapaikalta paljon tapahtuman ilmettä muistuttavan, peleihin markkinoidun "Low Poly Camping Set" -nimisen virtuaalimaailman reilun kuuden euron hinnalla.



Kuva 18. Kuvakaappaus Unreal Marketplace-verkkosivulta (Unreal Marketplace 2019).

Maailma piti sisällään karkeasti mallinnettuja vuoria, metsää, pilviä ja lyhtytolppia. Käytin kahta pientä valokuvakehystä ikkunoina tuohon virtuaalimaailmaan. Niiden etualalle asetin erilaisia virtuaalisia objekteja ja virtuaalivaloja niitä valaisemaan. Kasvillisuuden ja retkeilyvarustusten lisäksi harmaalla pahvilla oli opaskyltti, johon käyttäjä sai itse valita eri kaupunkien nimiä. Zero Densityn ohjelmiston yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on automaattisesti generoituvat varjot. Tätä ominaisuutta pyrin korostamaan lisäämällä käyttöliittymään napit, joiden avulla virtuaalisia valoja pystyi liikuttamaan edestakaisin. Varjot reaali maailmaan ja heijastumat muihin virtuaalisiin objekteihin seuraavat täydellisesti perässä.

Lisäsin käyttöliittymään myös napin, jolla järjestelmän videoulostuloon sai generoitua ukkossään. Oikean maailman kirkkauteen ja virtuaaliobjektien valaistussäätöihin sykleinä vaikuttanut toiminto sai aikaan kymmenen sekunnin ukkosmyrskyn. Mietin myös sateen lisäämistä, mutta siihen ei valmistelu aika riittänyt. 3D maailmaa ja objektien järjestystä havainnollistamaan ohjelmoin Broadcast Innovation Days -logon lentämään virtuaalimaailmaan, sen ikkunoista sisään ja ulos.

Kun asiakas laittoi kätensä kameran eteen logon ollessa etualalla, piirtyi se käden päälle ja virtuaali-ikkunasta lennettyään jäi logo vastaavasti taka-alalle. Pienet viherseinät tarjosivat yksinkertaisen esimerkin Zero Densityn ohjelmiston monipuolisuudesta. Kun pienen kuvakehyksen nosti pois, hävisi ikkuna virtuaaliseen maailmaan. Tietty kuva-alue ei siis rajoitu vain viherseinän käyttöön, vaan seinän poisnostamisen jälkeen tilaa voi käyttää pelkällä lisätyllä todellisuudella.



Kuva 19. Kuvakaappaukset kameran raakakuvasta ja lopputuotteesta (Petrus Palola 2019).

5.4 Yhteenveto kokeilusta

Lisätyn todellisuuden toiminnan kuvaus ja sen mahdollisuuksien demonstroiminen on aloittelijalle kiistatta vaikeaa. Tällä esimerkkijärjestelmällä pystyin kuitenkin varsin helposti ja ymmärrettävästi avaamaan teknologian saloja myös siitä täysin tietämättömälle. Pientä järjestelmää käytettäessä katsojan saattaa olla vaikea pystyä skaalaamaan sitä mielessään täysimittaiseksi. Tätä ongelmaa en varsinaisesti pystynyt poistamaan, mutta pyrin aina selventämään, että käytettävät komponentit olisi tarvittaessa mahdollista valjastaa oikean kokoisen studion käyttöön.

Tämä tutkiva kokeiluni osoitti, että vastaavaa lisätyn todellisuuden applikaatiota voi hyvin käyttää millä tahansa alalla. Järjestelmän voi asentaa yhtä hyvin tv-studioon kuin teatterisaliinkin. Suurinta rajoitetta ei enää aseta teknologioiden yhteensopimattomuus, vaan ihmiskäyttäjän rohkeuden, oman mielikuvituksen ja ongelmanratkaisukyvyyn puute.

6 Lisätyn todellisuuden käytön hyödyt, haasteet ja tulevaisuus

Kuten edellä olen osoittanut, lisätyn todellisuuden maailma on kehittynyt, ja sen erilaisten sovellusten käyttö on yleistynyt nopeasti. On selvää, että lisättyä todellisuutta käytetään tulevaisuudessa yhä enemmän ja monipuolisemmin. Tämä paikkansa jo vakiinnuttanut teknologia haastaa väistämättä paitsi media-, myös esitys- ja teatteritekniikan maailman tekijät kehittämään toinen toistaan innovatiivisempia ja elämyksellisempiä sovelluksia ja palveluita, jotka paitsi tuovat hienoa sisältöä, myös auttavat käyttäjänsä työtä ja jokapäiväistä elämää.

Lisätty todellisuus on jo arkea monella eri alalla, mutta sen tulevaisuuden käyttökohteet ovat varmasti vieläkin moninaisempia. Esimerkiksi henkilöstön koulutus helpottuu ja sen

laatu vakiintuu, kun osa koulutuksista voidaan toteuttaa lisätyn todellisuuden avulla. Jos ennen apua ei kehdannut kysyä, nyt lisätty todellisuus voi tarjota tarvittavan kertauksen vaikkapa ohjevideon muodossa. Kun logistiikka-alan työntekijät käyttävät nykyisin paljon aikaa tuotteiden paikantamiseen, tuovat lisätyn todellisuuden applikaatiot tuotteiden sijaintitiedot suoraan käyttäjän näkökenttään ja näin vähentävät keräilyyn kuluvaan aikaa. Samoin huoltoteknikot pystyvät löytämään viat helpommin, kun lisätty todellisuus yhdistetään tekoälyyn. Näistä ominaisuuksista voi olla paljon hyötyä myös esitys- ja teatteritekniikan toteuttamisessa.

Erilaisten uusien tuotteiden ja konseptien suunnittelu helpottuu, kun niitä voidaan testata virtuaalisesti: prototyyppien tarve pienenee, suunnittelu- ja tuotantoaika lyhenevät ja tuottavuus paranee. Lisätty todellisuus edesauttaa monin tavoin myös tuotantoprosessien ympäristöystävällisyyttä, kun suurta määrää prototyyppien ei tarvitse enää tehdä. Jo nykyisessä lisätyn todellisuuden kehitysvaiheessa sen käyttö voi tehostaa toimintaa huomattavasti.

Pitkällä tähtäimellä lisätyn todellisuuden käyttäminen voi säästää sekä kustannuksia että luonnonvaroja. Tämä on tärkeää, sillä ihmiset ovat nykyisin yhä kiinnostuneempia kestävästä kehityksestä, tuotantojen ympäristöystävällisyydestä ja tuotteiden kestävästä elinkaaresta. Turhan kuluttamisen, kalliiden väliaikaisratkaisujen ja mahdollisesti lyhytikäisten tuotteiden ja tuotantojen sijaan suositaan tarvittaessa myöhemmin laajennettavissa ja täydennettävissä olevia monikäyttöisiä ratkaisuja.

Kun media- ja esitystekniikan alan työtehtävät muuttuvat kovaa vauhtia ja "kaikkien pitää osata kaikkea" -mentaliteetti yleistyy, on tärkeää tuoda lisätyn todellisuuden järjestelmät mahdollisimman lähelle niiden käyttäjää ja kuluttajaa. Tämä tarkoittaa teknologian käytölogiikan yksinkertaistamista ja jo muilla aloilla käytössä olevien tuttujen ohjelmistojen ja tekniikoiden hyödyntämistä. Lisättyä todellisuutta on jo hyödynnetty eri tavoin esimerkiksi Ison-Britannian teattereissa, joissa on jo varhain ymmärretty eri tekniikkojen tarjoamat mahdollisuudet tarjota ratkaisuja teatteri-ilmaisun kehittämiseen. Samalla on saavutettu isoja edistysaskelia esteettömyyden edistämiseksi. Uusien tekniikkojen hyödyntäminen vaatii kuitenkin uutta osaamista ja uuden ajattelun omaksumista kaikissa teatterityön ammattiteissa.

Uusien mahdollisuuksien ideointi ja kokeileminen ovat lisätyn todellisuuden hyödyntämisen osalta lopultakin vasta alkuvaiheessa. Onnistuminen edellyttää kaikkien toimijoiden

yhteistyötä ja myös toimintakulttuurien muutosta, joka on aina haasteellista. Lisätyn todellisuuden yhdistäminen näyttämötaiteeseen antaa hienoja mahdollisuuksia esimerkiksi täydentää näyttämötilaa tai osallistaa yleisöä fyysiseen esitykseen. On jopa arvioitu, että tulevaisuudessa pelimaailman ja teatterityön yleisöt sekoittuvat. Kiinnostavia kokeiluja tällä alueella on jo tehtykin.

Yhdeksi haasteeksi on jo osoittautunut yleisön ja sen käyttämien teknisten laitteiden kapasiteetti. VR-lasien akku ei välttämättä kestä koko pitkän esityksen ajan, eivätkä vanhat, suoritusteholtaan heikot puhelimet yksinkertaisesti jaksa suorittaa lisätyn todellisuuden sovelluksia. Myös puhelinten päivittämättä jättäminen ja tätä kautta ilmenevät yhteensopivuusongelmat ovat suuri haaste lisätyn todellisuuden käytölle. Teknologian yleistyessä yhä laajemmalle käyttäjäkunnalle ohjelmistokehittäjien täytyy keksiä keinoja käyttää mitä tahansa puhelinmallia ilman yhteensopivuus- ja suoritusongelmia. (Power 2016.)

Lisätty todellisuus ja tekoäly ovat tulevaisuudessa tärkeä parivaljakko. Merkittävä suomalainen kokeilu tästä on Suomen Kansallisoopperassa valmisteilla oleva Laila -produktio. Tekoälyn avulla sovelluksista ja järjestelmistä halutaan itsenäisiin päätöksiin pystyviä ja entistä paremmin ympäröivään maailmaan mukautuvia. On ilmeistä, että lisätty todellisuus ja tekoäly tulevat yhdessä muuttamaan perinteisiä toimintamalleja monilla aloilla. Lisätyn todellisuuden liikevaihdon arvioidaankin nousevan lähivuosina erittäin nopeasti.



Kuvio 1. Markkinakoko ja ennuste vuodelle 2020 (Statista 2020).

Pelimaailma on tällä hetkellä suurin lisätyn todellisuuden käyttöympäristö, ja todennäköisesti se tulee pitämään ykköspaikkansa myös tulevaisuudessa. Muut alat tulevat kuitenkin kovaa vauhtia perässä. Mittakaavaltaan suuria kehittyviä aloja ovat terveydenhuolto ja teollisuus, mutta myös esitys- ja teatteritekniikan aloilla tullaan varmasti näkemään markkinoiden huomattavaa kasvua. Tätä kehitystä tulee epäilemättä nopeuttamaan keväällä 2020 laajasti esityksiä ja konsertteja peruuttanut koronaepidemia, jonka seurauksena niin teatteri- kuin konserttiesityksiäkin muutettiin virtuaalisiksi verkkolähetyksiksi.

Yksi esimerkki muutoksesta on perinteisen radiogaalan siirtyminen kokonaan virtuaaliseksi tapahtumaksi. Gaalan juontaja asetetaan virtuaalisesti tapahtumapaikkana normaalisti toimivan juhlateltan kolmiulotteisen mallin sisään. Kutsuvieraita ei tapahtumassa ole, mutta hienot puitteet ja osallisuuden tunne säilyvät. Olen itse toteuttamassa tätä gaalaa ja monia muita vastaavia tapahtumia lähitulevaisuudessa. Pienestä ideasta ja kevyestäkin toteutusmallista kasvaa helposti elämyksellisiä innovaatioita ja visuaalisesti jopa hienompia kokonaisuuksia kuin ne todellisessa ympäristössä olisivat.

Lisätyn todellisuuden kehityksen suurimmat haasteet ovat raha, ihmiset ja laitteisto. Investoijat haluavat nähdä välittömiä tuloksia pian uuteen teknologiaan sijoittamisen jälkeen. Lisätyn todellisuuden käytön taloudellisia vaikutuksia voi kuitenkin olla vaikea arvioida ja mitata, ja sen hyödyntämisen tavat ja mahdollisuudet muuttuvat jatkuvasti. Tämä haastaa alan ammattilaiset seuraamaan teknistä kehitystä ja arvioimaan sen aiheuttamia kustannuksia paljon nykyistä tarkemmin.

Lisätyn todellisuuden suunnitteluun ja toteutukseen käytettäviä ohjelmistoja on jo tarjolla paljon ja niitä on saatavilla erilaisille käyttäjille, peruskuluttajasta huippuammattilaiseen. Ohjelmistot, niiden käytettävyys ja yhteensopivuus eroavat kuitenkin toisistaan, ja oikeat valinnat vaativat perehtyneisyyttä.

Uuden tekniikan soveltamisen haasteita ovat myös ihmisten ennakkoluulot ja muutosvastarinta. Moni haluaa työskennellä mahdollisimman kauan perinteisillä työvälineillä perinteisessä työympäristössä. Luovuuden ja uskalluksen puute jarruttaa kehitystä kaikilla aloilla, eivätkä luovat alat ole tästä poikkeus. Lisätyn todellisuuden asiantuntijoita on vähän, eikä alan koulutusohjelmia tai opettajia ole myöskään tarpeeksi. Jatkuvan koulutuksen tarve on kuitenkin ilmeinen, jotta lisätystä todellisuudesta saadaan aito hyöty ja että siihen kannattaa investoida.

Yksi käytännön ongelma lisätyn todellisuuden hyödyntämiselle on datayhteyksien hitaus tai niiden puuttuminen. Lähes kaikki järjestelmät tarvitsevat laadukkaasti internet-yhteyden toimiakseen ja sen puuttuessa teknologian käytettävyys vaikeutuu. Toisaalta tämä ongelma voidaan esimerkiksi teattereissa ja konserttisaleissa poistaa käyttämällä paikallista prosessointilaitteistoa, jos ulkopuolista pilvipalveluihin tukeutuvaa laskentatehoa ei ole saatavilla.

Haasteita osaamiselle asettaa myös se, että graafinen suunnittelu on olennainen osa lisättyä todellisuutta. Usein tarpeeksi korkealaatuista materiaalia ei ole valmiiksi saatavilla, vaan se pitää tehdä itse. Tämä lisää projektien kustannuksia ja tekee niistä aikataulullisesti hitaampia. Tämä ongelma on kuitenkin poistumassa jo kovaa vauhtia, kun kuluttajille suunnatut suunnitteluohjelmistot kehittyvät ja ymmärrys teknologian toiminnasta muutoinkin kasvaa.

Lisätyn todellisuuden konkreettisia käyttömahdollisuuksia esitys- ja teatteritekniikassa ja esittävässä taiteissa on lähes rajattomasti, sillä tekniikkojen luova soveltaminen mahdollistaa uudenlaiset monialaiset tuotannot. Kun raja-aidat eri taiteen alojen sekä tekniikan ja taiteen ammattilaisten välillä madaltuvat, voi syntyä aivan uusia innovaatioita ja uutta elämyksellisyyttä. Lisätyn todellisuuden tuominen osaksi esittävää taidetta mahdollistaa yksilölliset katsojakokemukset, jotka ovat uudella tavalla myös esimerkiksi aistirajoitteisten ihmisten saatavilla. Yleisö ei välttämättä enää vain katso ja koe, vaan voi tulla itse osaksi esitystä, joka muodostuu joka kerta erilaiseksi. Tämä haastaa ammattilaiset, mutta luo samalla uutta syvyyttä ja osallisuutta kaikkien työhön. Samalla tuotantojen siirtäminen paikasta toiseen helpottuu, ja ne voidaan muokata kuhunkin paikalliseen tilaan sopiviksi.

Harkiten ja laadukkaasti käytettynä lisätty todellisuus elävöittää kulttuurituotantoja, nopeuttaa niiden tuotantoprosesseja ja tuo parhaimmillaan meidän jokaisen elämään lisää elämyksiä ja jännitystä. Matka erityistehosteesta jokapäiväiseksi työvälineeksi on kesken, mutta hyvässä vauhdissa.

Lähteet

Anderton, Kevin 2016. Augmented Reality, The Future, And Pokemon Go. Forbes 14.11.2016. <<https://www.forbes.com/sites/kevinanderton/2016/11/14/augmented-reality-the-future-and-pokemon-go-infographic/#3c443ec17e98>> (luettu 19.11.2019)

Apple 2020. Lisätyn todellisuuden tuotesivu. <<https://developer.apple.com/augmented-reality/>> (luettu 24.01.2020)

Arilyn Vimeo 2019. Arilyn x Amos: Le Chat Doré. <<https://vimeo.com/376822047>>

Axon, Samuel 2016. Unity at 10: For better—or worse—game development has never been easier. Ars Technica 27.9.2016. <<https://arstechnica.com/gaming/2016/09/unity-at-10-for-better-or-worse-game-development-has-never-been-easier/>> (luettu 02.05.2020)

Azuma, Ronald 1997. Survey of Augmented Reality. <<http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>> (luettu 17.12.2019)

B&T Magazine 2019. Snap Inc. Announces Lens Studio 2.1. <<https://www.bandt.com.au/snap-inc-announces-lens-studio-2-1/>> (luettu 30.02.2020)

Barnard, Dom 2019. History of VR – Timeline of events and Tech Development. <<https://virtualspeech.com/blog/history-of-vr>> (luettu 23.11.2019)

Boeing 2018. Boeing Tests Augmented Reality in the Factory. <<https://www.boeing.com/features/2018/01/augmented-reality-01-18.page>> (luettu 20.02.2020)

Boyle, Emma 2017. Britain's National Theatre is using augmented reality to enhance its shows. Techradar 03.10.2017. <https://www.techradar.com/news/the-national-theatre-is-using-augmented-reality-to-enhance-its-shows?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+techradar%2Fallnews+%28TechRadar%3A+Tech+News+and+Reviews%29> (luettu 27.05.2020)

Burke, David 2017, Google. ARCore: Augmented reality at Android scale <<https://www.blog.google/products/google-vr/arcore-augmented-reality-android-scale/>> (luettu 23.02.2020)

Emspak, Jesse 2018. What is augmented reality? <<https://www.live-science.com/34843-augmented-reality.html>> (luettu 18.12.2019)

Google 2020. ARCore-tuotesivu <<https://developers.google.com/ar/discover>> (luettu 25.05.2020)

Google Patents. Patentti Sensorama-laitteesta. <<https://patents.google.com/patent/US3050870A/en>> (luettu 23.11.2019)

Gullichsen, Frida 2019, Arilyn. Augmented reality portal recreates prohibition time café <<https://blog.arilyn.com/birger-carlstedt-amos-rex>> (luettu 04.03.2020)

Helsingin kaupunki 2020. Vappua juhlietaan JVG:n keikalla Virtuaalisessa Helsingissä <<https://www.hel.fi/uutiset/fi/kaupunginkanslia/vappua-juhlietaan-jvgn-keikalla-virtuaalisessa-helsingissa>> (luettu 26.04.2020)

Ikea 2017. Ikea Place-tuotesivu <<https://www.ikea.com/fi/fi/news/ikea-place-sovellus-pub74be1e00>> (luettu 02.01.2020)

Isberto, Michael 2018. History of Augmented Reality <<https://www.colocationamerica.com/blog/history-of-augmented-reality>> (luettu 19.11.2019)

Kastrenakes, Jacob 2017, The Verge. Google's Project Tango is shutting down because ARCore is already here <<https://www.theverge.com/2017/12/15/16782556/project-tango-google-shutting-down-arcore-augmented-reality>> (luettu 23.01.2020)

Martikainen, Annika 2019. Tuplajännittävä ilta sai suomalaiset television ääreen: Vaalien tuloksilta ja jääkiekon MM-finaali keräsivät kumpikin 1,5 miljoonaa katsojaa. Ylen verkkosivut 15.4.2019. <<https://yle.fi/uutiset/3-10740404>> (luettu 06.01.2020)

Mealy, Paul. The History of Virtual and Augmented Reality <<https://www.dummies.com/software/the-history-of-virtual-and-augmented-reality/>> (luettu 22.11.2019)

Metz, Rachel 2014. Augmented Reality Gets to Work. MIT Technology review 24.2.2014. <<https://www.technologyreview.com/2014/02/24/173872/augmented-reality-gets-to-work/>> (luettu 16.5.2020)

Newton, Casey 2017. Snap releases Lens Studio, a tool for creating your own AR effects. The Verge 14.12.2017. <<https://www.theverge.com/2017/12/14/16770088/snaplens-studio-snapchat-lenses-filters-download-mac-windows>> (luettu 30.01.2020)

Opera Beyond 2020. "The canon of opera divas from Aida to Salome will soon be shaken up by an extraordinary new diva. Laila will premiere in August" ja alaotsikko "What on Earth did we get Ourselves into?" <<https://operabeyond.com/laila/>> (luettu 26.05.2020)

Pensworth, Luke 2020. What Happened to Google's Tango? <<https://dailywireless.org/mobile/what-happened-to-google-tango/>> (luettu 27.05.2020)

Power, Sarah 2016. Lifting the curtain on augmented reality: How AR is bringing theatre into the future. Factor 21.11.2016. <<https://www.factor-tech.com/feature/lifting-the-curtain-on-augmented-reality-how-ar-is-bringing-theatre-into-the-future/>> (luettu 19.12.2019)

Robertson, Adi 2017. Breaking down Apple's new augmented reality platform. The Verge 6.6.2017. <<https://www.theverge.com/2017/6/6/15742736/apple-arkit-augmented-reality-platform-wwdc-breakdown>> (luettu 28.01.2020)

Royal National Theatre. Smart caption glasses. <<https://www.nationaltheatre.org.uk/your-visit/access/caption-glasses>> (luettu 02.12.2019)

Siltanen, Sanni 2012, VTT. Theory and applications of marker-based augmented reality. <<https://www.vtt.fi/inf/pdf/science/2012/S3.pdf>> (luettu 17.12.2019)

Skovbjerg Jensen, Peter 2018. Mitä on lisätty todellisuus? <<https://kotimikro.fi/yhteiskunta/uusi-tekniikka/mita-on-lisatty-todellisuus>> (luettu 17.12.2019)

Snapchat 2020. Lenses: Scan Your World | Snap Partner Summit 2019 <<https://www.youtube.com/watch?v=yifzT3n0Ps8>>

Statista 2020. Lisätyn todellisuuden markkinakokoennuste. <<https://www.statista.com/statistics/591181/global-augmented-virtual-reality-market-size/>> (luettu 30.02.2020)

Suomen Kansallisooppera 2020. Kansallisooppera, Esa-Pekka Salonen ja Paula Vesala yhteistyössä Opera Beyond -projektissa. Oopperabaletti -verkkosivu 22.2.2019. <<https://oopperabaletti.fi/talo/uutisia/kansallisooppera-salonen-ja-vesala-yhteistyohon/>> (luettu 27.05.2020)

Tapala, Petri 2018. Ikea Place tuli myös Android-puhelimiin – sommittele kalusteita omaan kotiin. <<https://mobiili.fi/2018/03/20/ikea-place-tuli-myos-android-puhelimiin-sommittele-kalusteita-omaan-kotiin/>> (luettu 02.01.2020)

Technoingg 2019. Snapchat "Landmarkers" to let you animate Eiffel tower, Buckingham palace and more. <<https://technoingg.com/snapchat-landmarkers-to-let-you-animate-eiffel-tower-buckingham-palace-more/>> (luettu 30.02.2020)

Terävä, Hanna 2019. Milloin ennakköänet on laskettu? Mihin aikaan lopputulosta ennakkoiva ennuste saadaan? Näin Yle seuraa vaaleja sunnuntaina jo aamusta. Yleisradio 13.4.2019. <<https://yle.fi/uutiset/3-10735857>> (luettu 04.01.2020)

Thomsen, Mike 2012, IGN. History of the Unreal Engine. <<https://www.ign.com/articles/2010/02/23/history-of-the-unreal-engine>> (luettu 17.02.2020)

Today's Engineer 2010. The Making of Football's Yellow First-and-Ten Line (julkaistu alkuperäisesti Today's Engineer-lehdessä 2010). <https://ethw.org/The_Making_of_Football%27s_Yellow_First-and-Ten_Line>(luettu 17.5.2020)

Unity 2020. Unity-tuotesivusto <<https://unity.com/>>

Unreal Engine 2020. Pelimoottorin pikakäyttöohje. <<https://docs.unrealengine.com/en-US/GettingStarted>> (luettu 17.02.2020)

Unreal Marketplace 2019. Low Poly Camping Scene Assets -tuotesivu. <<https://www.unrealengine.com/marketplace/en-US/product/low-poly-camping-scene-assets>>

Upskill. Boeing and Upskill Case Study. <<https://upskill.io/landing/upskill-and-boeing/>> (luettu 20.02.2020)

Vanha-Majamaa, Anton 2020. JVG järjesti Senaatintorilla virtuaalisen vapun sadoille tuhansille, ja tunnelma oli aavemainen. Ylen verkkosivut 01.05.2020. <<https://yle.fi/aihe/artikkeli/2020/05/01/jvg-jarjesti-senaatintorilla-virtuaalisen-vapun-sadoille-tuhansille-ja-tunnelma>> (luettu 15.05.2020)

Warren, Isaac 2016. The Story behind the yellow line. <<https://thelamponline.com/3712/campus-news/the-story-behind-the-yellow-line/>> (luettu 22.11.2019)

Vedenpää, Ville 2019. Vesalan konsertissa kokeiltiin lisättyä todellisuutta – yleisö pidättyi vielä perinteisessä kännykkävalomeressä. Yleisradio 26.10.2019. <<https://yle.fi/uutiset/3-11038501>> (luettu 02.01.2020)

Yleisradio 2019. Eduskuntavaalien tuloslähetys 15.4.2019 <<https://areena.yle.fi/1-50116811>>

Zoan 2020. JVG – Ikuinen vappu 30th April 2020. <<https://zoan.fi/work/jvg-and-the-city-of-helsinki-burst-live/>>