

Frans Tihveräinen

Lisätty todellisuus näyttelykäytössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Mediatekniikan koulutusohjelma

Insinööriytyö

25.4.2013

Tekijä Otsikko	Frans Tihveräinen Lisätty todellisuus näyttelykäytössä
Sivumäärä Aika	40 sivua + 1 liite 25.4.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	mediatekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	digitaalinen media
Ohjaajat	lehtori Aarne Klemetti näyttelypäällikkö Carina Jaatinen museolehtori Tiina Hero
<p>Insinööriyössä tutkittiin AR-tekniikkaa (AR = Augmented Reality), eli lisättyä todellisuutta. Lisätty todellisuus on teknologia, jonka avulla voi nähdä lisättyä digitaalista sisältöä upotettuna todelliseen maailmaan. Työssä vertailtiin olemassa olevia AR-alustoja ja toteutettiin AR-tekniikkaa hyödyntävä teos Espoon kaupunginmuseo KAMUlle. Insinööriyön tavoitteena oli valita Espoon kaupunginmuseon käyttöön tuleva AR-alusta museon tarpeiden mukaan ja toteuttaa yksi kolmiulotteinen AR-teos. Toteutettava teos tulee KAMUn uuteen perusnäyttelyyn, joka avaa ovensa yleisölle lokakuussa 2013.</p> <p>Työssä perehdyttiin eri AR-palveluntarjoajiin ja niiden tarjoamiin valmiisiin AR-alustoihin. Tutkimuksissa löytyi useita vartenotettavia alustoja, jotka saattaisivat sopia KAMUn näyttelytarkoitukseen, ja kolme löydetyistä alustoista valittiin tarkemman vertailututkimuksen kohteeksi. Vertailussa tutkittiin museokäytön kannalta oleellisia elementtejä, muun muassa käytettävyyttä ja seurannan tasoa. Vertailussa parhaiten pärjännyt alusta valittiin AR-teoksen toteutuslueksi sen monipuolisuuden, helppokäyttöisyyden ja yleisen toimivuuden ansiosta.</p> <p>Insinööriyön lopputuloksena syntyi AR-tekniikkaa hyödyntävä interaktiivinen, kolmiulotteinen ja animoitu ”infografiikka”, joka kuvaa Espoon kaupunkirakenteen kehittymistä 1950-luvulta nykypäivään. AR-teoksen 3D-malli mallinnettiin ja animoitiin käyttäen avointa 3D-ohjelmaa, ja malli vietiin insinööriyössä valitulle AR-alustalle. AR-teosta katsotaan älylaitteella museon lattiassa olevasta painetusta tarrasta. Museokävijöiden on mahdollista ladata AR-sovellus omaan älylaitteeseensa tai katsoa sitä KAMUn tablettitietokoneella.</p> <p>Insinööriyön tutkimuksissa saatiin kattavasti selville AR-teknologian nykytila ja myös viitteitä AR:n tulevaisuudesta. AR varmasti yleistyy lähivuosina älylaitteiden kehittymisen ja yleistymisen myötä.</p>	
Avainsanat	lisätty todellisuus, augmented reality, image-based, tehostettu todellisuus, älykatsominen, Blender, älylaitteet

Author Title	Frans Tihveräinen Exhibitionist Augmented Reality
Number of Pages Date	40 pages + 1 appendix 25 April 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Media Technology
Specialisation option	Digital Media
Instructors	Aarne Klemetti, Senior Lecturer Carina Jaatinen, Head of Exhibitions Tiina Hero, Senior Museum Guide
<p>This thesis examines Augmented Reality (AR) and its possibilities. AR is a technology, which enables the possibility of seeing digital media overlaid on the real physical world. In this thesis, AR-platforms were compared, and an AR-work was produced for the Espoo City Museum KAMU. The purpose of this this thesis was to determine which existing AR-platform fulfills the requirements given by KAMU, and to create a three-dimensional AR-work for KAMU's upcoming new exhibition that opens in October 2013.</p> <p>AR-service providers and existing AR-platforms were looked into, and many potentially good platforms were found. Three most promising AR-platforms were chosen for a more precise comparison. Features compared included usability and tracking, as they are of great importance to KAMU. Based on research and tests performed, one of the compared three platforms was chosen to be used as the AR-platform for KAMU's AR-work.</p> <p>The final product of this thesis is a three-dimensional, animated and interactive AR-work that visualizes the growth of the city of Espoo from the 1950's to the present. The 3D-elements in the AR-work were modeled, lit, and animated using a free and open-source 3D-software, and it was exported to the chosen AR-platform. The AR-work is viewed using a smart device and pointing its camera at a large printed sticker on the floor. Museum visitors can view the AR-work with their own smart devices by installing the AR-app, or they can enjoy the AR-work using tablet computers provided by KAMU.</p> <p>The research conducted in this thesis gives good general knowledge about the state of AR-technology today, and also some reference of the future of AR. AR will certainly become more common in the near future as smart devices develop and become more common.</p>	
Keywords	augmented reality, virtual reality, Blender, smart devices, image-based

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Augmented reality - Lisätty todellisuus	3
2.1	Määritelmä	3
2.2	AR Suomessa	8
2.3	Lisätyn todellisuuden mahdollisuudet	11
3	<i>Tuhat tarinaa Espoosta</i> – KAMUn uusi perusnäyttely	13
3.1	Näyttely ja AR-teos	13
3.2	AR-alustan ominaisuudet	14
4	AR-alustat	16
4.1	Vertailut alustat	16
4.2	Alustan valinta	22
5	<i>Kasvu</i> – AR-teos	30
6	Yhteenveto	37
	Lähteet	39
	Liitteet	
	Liite 1. Valmis AR-teos	

Lyhenteet ja käsitteet

AR	Augmented Reality eli lisätty tai laajennettu todellisuus.
HMD	Head Mounted Display eli silmikkonäyttö.
iOS	Applen mobiililaitteiden käyttämä käyttöjärjestelmä.
laukaisinkuva	AR-aktiivinen kuva eli (yleensä painettu) kuva, jota <i>älykatsomalla</i> näkee lisättyä sisältöä.
overlay	Lisätty digitaalinen sisältö, jonka näkee <i>älykatsomalla</i> .
renderöinti	Laskentatoimenpide, jossa 3D-malliin lasketaan muun muassa valot, varjot ja heijastukset.
träkkäys	engl. <i>tracking</i> , eli jonkin seuranta.
älykatsominen	AR-sisällön katsominen älylaitteen läpi. Insinööriyön tekijän oma termi, jolle ei ole englanninkielistä vastinetta.

1 Johdanto

Illuusiot ovat aina kiehtoneet ihmistä, sillä niiden tarkoituksena on harhauttaa aisteja siten, että katsoja aistii jotakin, jota ei todellisuudessa ole. Virtuaalitekniikan myötä on päästy kokeilemaan erilaisia simulaattoreita, joiden on tarkoitus antaa käyttäjälle todentuntuinen kokemus jostakin, esimerkiksi ralliautoilusta tai lentämisestä. Virtuaalisimulaatioiden tarkoitus on luoda käyttäjälle immersion eli aistein uppoutumisen tunne. Augmented reality (AR), suomeksi lisätty todellisuus, on hybridimediatekninen konsepti, joka yhdistää reaaliaikaisesti todellista ja virtuaalia. Lisätyn todellisuuden tekniikoiden avulla on mahdollista luoda uskottavia illuusioita, joissa virtuaalielementit esiintyvät todellisuudessa. Lisätty todellisuus ei pyri virtuaalitodellisuuden tavoin käyttäjän immersion, vaan se pyrkii esittämään virtuaalin ja todellisen mahdollisimman saumattomasti siten, että käyttäjän on vaikea erottaa niitä toisistaan.

Älypuhelimet ja tablettitietokoneet ovat yleistyneet viime vuosina, ja kesäkuussa 2012 jo 39 prosentilla suomalaisista oli älypuhelin [1]. Nyt vuotta myöhemmin lähes jokaisella on taskussaan älypuhelin, jossa on kamera, tehokas prosessori ja mahdollisuus verkko-yhteyteen ja sovellusten lataamiseen. Älylaittevalmistajien sovelluskaupoissa on useita AR-sovelluksia, joiden avulla on mahdollista katsoa lisättyä sisältöä monella tavalla, muun muassa "AR-aktiivisista" kuvista. Näiden älylaitteiden ja älylaitesovellusten yleistyessä myös lisätyn todellisuuden tekniikat ovat suuren yleisön tavoitettavissa ja tavallisten ihmisten on mahdollista rakentaa omaa lisättyä todellisuuttaan ja jakaa sitä muille ilman tietoteknistä erikoisosaamista.

Insinööriö tehdään kuvassa 1 näkyvän Espoon kaupunginmuseo KAMUn uuteen perusnäyttelyyn, johon on tarkoitus tuoda jotakin uutta ja jännittävää lisätyn todellisuuden teknologioiden avulla. Tavoitteena on toteuttaa AR-tekniikkaa hyödyntävä informatiivinen teos, joka kuvaa Espoon kaupunkirakenteen kehittymistä 1950-luvulta nykypäivään. Työn tarkoituksena on tarjota museokävijöille uudenlainen ja informatiivinen museokokemus AR-teoksen avulla.



Kuva 1. Espoon kaupunginmuseo KAMUn sisäänkäynti WeeGee-talon aulassa [2].

KAMU toimii Tapiolassa sijaitsevassa Näyttelykeskus WeeGeessä, jossa toimivat myös Espoon modernin taiteen museo EMMA, Helinä Rautavaaran museo, Suomen Lelumuseo Hevosenkenkä, Suomen Kellomuseo ja nykytaidegalleria AARNI [3]. Espoon kaupunginmuseo on lähtökohtaisesti kulttuurihistoriallinen museo, ja sen uuden perusnäyttelyn, jonka nimi on *Tuhat tarinaa Espoosta*, perimmäinen tarkoitus on ”välittää tietoa Espoon historiasta ja selittää nykypäivää menneisyyden avulla” [4]. *Tuhat tarinaa Espoosta* on jaettu osioihin, joista jokainen kertoo osasta Espoon historiaa. Uuden näyttelyn kohdeyleisöä ovat lapset ja nuoret (muun muassa koululaisryhmät), paikalliset asukkaat, matkailijat ja kaupungin vieraat. Insinööriyönä toteutettava lisätyn todellisuuden menetelmiä käyttävä teos (myöhemmin AR-teos) tulee näyttelyn viimeiseen osioon, jonka teema on Espoon kaupunkirakenteen muuttumisessa, ja sen tarkoituksena on havainnollistaa Espoon lähiöiden kehittymistä 1950-luvulta nykypäivään. Insinööriyö toteutetaan käyttämällä nykyaikaisia lisätyn todellisuuden menetelmiä.

Insinöörityön KAMUlle tuoma hyöty liittyy museokävijöiden stimulointiin ja innostamiseen. Museovieraat voivat kokea AR-teoksen aivan uudella tavalla, jota ei ole museoissa, varsinkaan kaupunginmuseoissa, totuttu näkemään ja kokemaan. AR-teosta ei vain katsota, vaan sitä voi ihmetellä läheltä ja kaukaa, edestä, takaa ja sivuilta. Se on kuin patsas, joka liikkuu.

2 Augmented reality - Lisätty todellisuus

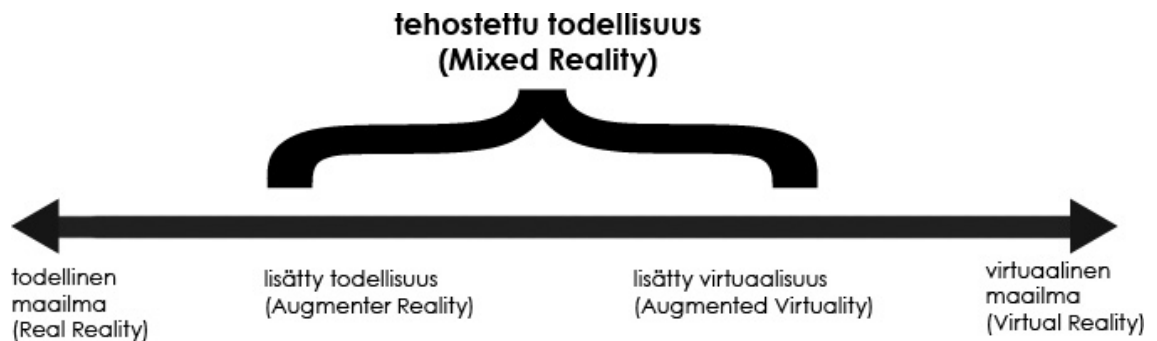
2.1 Määritelmä

Augmented reality, suomeksi käännettynä usein lisätty, täydennetty tai laajennettu todellisuus, tarkoittaa virtuaalisen informaation reaaliaikaista lisäämistä todelliseen ympäristöön. Lisätty todellisuus eroaa virtuaalitodellisuudesta pääasiassa siinä, että lisätys todellisuudessa virtuaalisia asioita nähdään todellisen todellisuuden päällä. Virtuaalitodellisuus taas uppouttaa käyttäjän kokonaan virtuaalimaailmaan, eikä käyttäjä pysty virtuaalimaailman alta aistimaan oikeaa todellisuutta. [5.]

Sanastokeskus TSK:n vuoden 2008 virallinen käännös englannin *augmented realitylle* on täydennetty todellisuus [6]. Termi *lisätty todellisuus* on kuitenkin vakiintumassa ja antaa Googlen hakukoneella miltei 15-kertaisen määrän hakutuloksia *täydennettyyn todellisuuteen* verrattuna. Älylaitteilla katsottavan lisätyn todellisuuden ”silmänä” eli todellisen ympäristön katsojana on laitteen kameran välittämä reaaliaikainen kuva. Koska AR-sisällön katsomiseen älylaitteilla ei ole olemassa vakiintunutta suomen- tai englanninkielistä verbimuotoista termiä, keksin itse termin *älykatsominen*. *Älykatsomisella* tarkoitan kaikenlaisten älylaitteiden, muun muassa tablettitietokoneiden ja älypuhelimien kameroiden läpi katsomista AR-sisällön näkemistarkoituksessa. Siinä missä virtuaalitodellisuus on kokonaan virtuaalista ja sijoittuu kokonaan virtuaaliympäristöön, lisätty todellisuus lisää virtuaalisia elementtejä kameran läpi nähtyyn todellisuuteen reaaliajassa.

Paul Milgram [7] määrittää kuvassa 2 näkyvän jatkumon, jonka toisessa päässä on todellinen maailma ja toisessa päässä virtuaalimaailma. Näiden väliin jää todellisen ja virtuaalin välimaasto, *mixed reality*, jonka parempi suomenkielinen termi (kuvasta poiketen) on tehostettu todellisuus. Tehostettuun todellisuuteen sisältyy lisätty virtuaali-

suus, jossa todellista on lisätty virtuaaliin, ja lisätty todellisuus, jossa taas virtuaalista on lisätty todellisuuteen. [7.]



Kuva 2. Milgramin virtuaalisen todellisuuden jatkumo [7].

Tutkija Ronald Azuma [5] määritteli lisätyn todellisuuden vuonna 1997 sisältämään kolme tunnusmerkkiä:

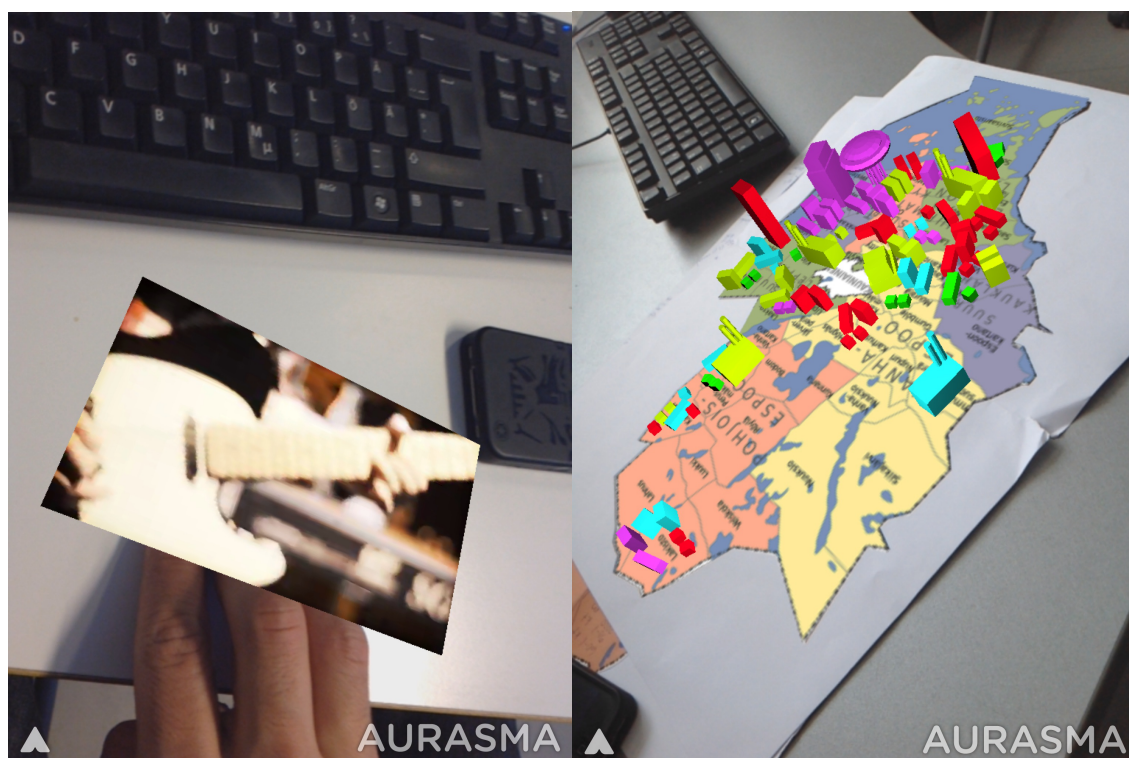
1. yhdistää todellisen ja virtuaalisen
2. on reaaliaikaisesti interaktiivinen
3. rekisteröityy kolmiulotteisesti, eli kohdistaa todellisen ja virtuaalin.

Azuma on määritelmässään Milgramin kanssa samoilla linjoilla siitä, että lisätty todellisuus yhdistää todellisen ja virtuaalisen. Azuman määritelmään mahtuu muunkinlaista lisättyä todellisuutta kuin vain HMD (head mounted display eli silmikkonäyttö) - pohjaiset ratkaisut, mutta säilyttää kuitenkin lisätyn todellisuuden tärkeimmät komponentit. Määritelmään eivät kuulu kuvassa 3 näkyvät 2D-overlay-sisällöt (overlay = lisätty digitaalinen sisältö), koska ne eivät sulaudu ympäristöönsä vaan vain "leijuvat" käyttäjään nähden samassa perspektiivissä riippumatta siitä, miten päin katsoja katsoo laukaisinta. Sen sijaan 2D-overlay, esimerkiksi kuva tai video, joka rekisteröityy 3D-maailmassa reaaliaikaisesti (kuvassa 4) eli kääntyy, suurenee ja pienenee älykatsojan liikkeiden mukaan, täyttää Ronald Azuman lisätyn todellisuuden määritelmän. [5.]



Kuva 3. Esimerkki 2D-overlaysta Wikitude AR-sovelluksessa [9].

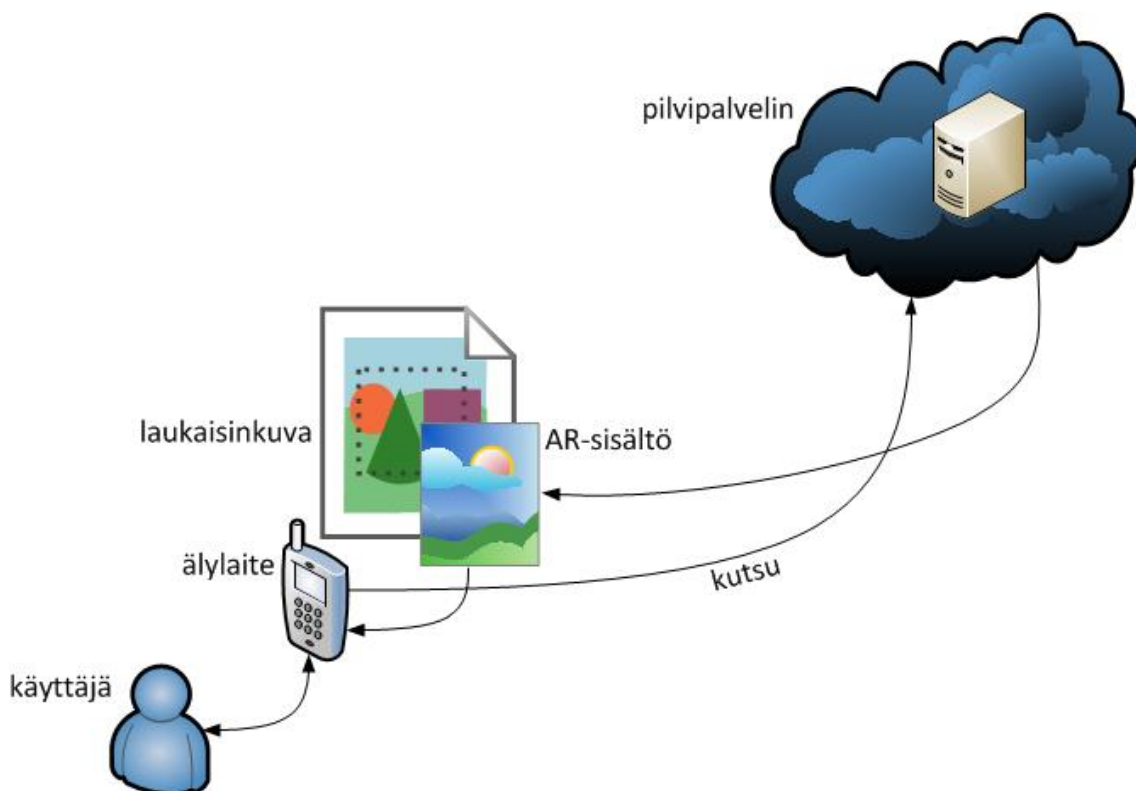
2D-overlay on käyttäjään nähden aina samassa kulmassa eikä ota huomioon katsojan liikkeitä ja katsomiskulmaa.



Kuva 4. 2D-video-overlay ja 3D-overlay, jotka kohdistuvat reaaliaikaisesti ja kolmiulotteisesti todellisuuteen.

3D-avaruuteen rekisteröityvät overlayt, niin 3D-mallit kuin 2D-kuva- tai videotasot, täyttävät Azuman määritelmän, sillä ne kohdistuvat todellisen kanssa reaaliaikaisesti.

Älykatsomisessa älylaitteen ja AR-sovelluksen on seurattava (engl. *tracking*) kameran reaaliaikaista kuvavirtaa ja kohdistettava lisätty sisältö laitteen näytöllä näkyvään todellisuuteen. Lisätyn todellisuuden seuranta on ainakin kolmea eri tyyppiä: kuvaperusteinen (image-based), geolokaatioperusteinen ja objektiperusteinen seuranta. Kuvaperusteisessa seurannassa (kuva 5) AR-sisällön laukaisijana on (yleensä painettu) kuva, joka sisältää riittävän paljon yksityiskohtia, jotta AR-sovellus voi seurata sitä ja kohdistaa lisätyn sisällön kuvaan tarkasti. Insinööriyönä toteutettava AR-teos hyödyntää kuvaperusteista seuranta. Geolokaatioperusteinen AR-seuranta perustuu käyttäjän GPS-sijaintiin ja sen lisäksi älylaitteen gyroskoopin antamaan tietoon siitä, mihin suuntaan laitteella katsotaan [10]. Objektipohjainen seuranta seuraa kolmiulotteista objekti, josta on tehty tarkka pistepilvi seuranta varten [11].

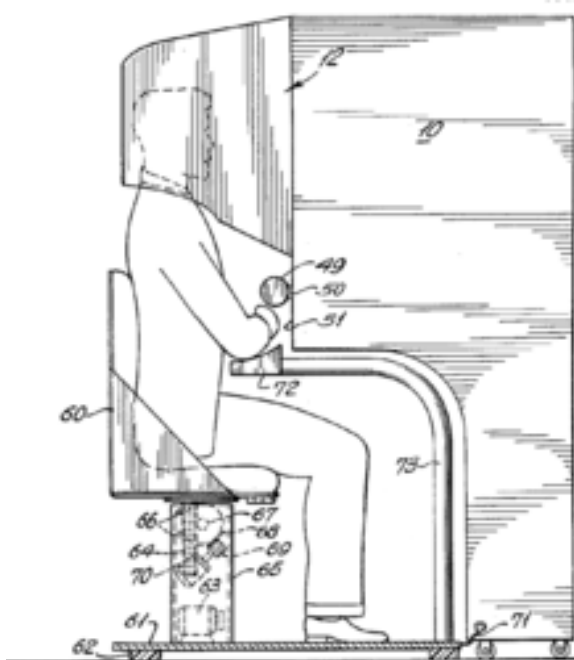


Kuva 5. Kuvaperusteisen lisätyn todellisuuden yksinkertaistettu toimintaperiaate. Älylaite, jossa AR-sovellus, skannaa laukaisinkuvan, vertaa kuvaa pilvipalvelimen laukaisinkuvatiekantaan ja pilvipalvelimelta tulee laukaisinkuvaan paritettu AR-sisältö. Älylaite kohdistaa sisällön reaaliaikaisesti laukaisinkuvaan.

Joissakin AR-sovelluksissa kerran ladattu AR-sisältö tallennetaan äylaitteen muistiin, ja sen jälkeen sisältöä voi älykatsoa ilman verkkoyhteyttä. Joissakin sovelluksissa kaikki AR-sisältö tulee sovelluksen mukana ja sovellus toimii kokonaan ilman verkkoyhteyttä.

Lisätyn todellisuuden lyhyt historia

Virtuaalitodellisuus on lisätyn todellisuuden esiaste, jossa koko oikea todellisuus pyritään korvaamaan virtuaalisella, keinotekoisella todellisuudella. Virtuaalitodellisuuden tavoitteena on saada käyttäjässä aikaan immersion eli uppoutumisen tunne. Ensimmäisiä aistein uppoutumiseen tähtääviä laitteita oli Morton Heiligin vuonna 1962 kehittämä ja kuvassa 6 näkyvä Sensorama-laite. [11.]



Kuva 6. Patenttihakemuksessa ollut piirros Morton Heiligin Sensorama-laitteesta [12].

Sensorama on mekaaninen laite, joka stimuloi monia aisteja samanaikaisesti. Laite näyttää stereoskooppista 3D-laajakuvavideota, heiluttaa käyttäjää fyysisesti, toistaa stereoääntä ja lisäksi puhalttaa tuulta ja hajuja käyttäjää kohti. Vieläkin toimintakunnossa oleva Sensorama-laite on myynnissä 1,5 miljoonan dollarin hintaan. [11.]

Ensimmäinen järjestelmä, joka yhdisti todellista ja virtuaalia, oli kuvassa 7 näkyvä Ivan Sutherlandin HMD-pohjainen järjestelmä, *The Sword of Damocles*, joka valmistui vuonna 1968.



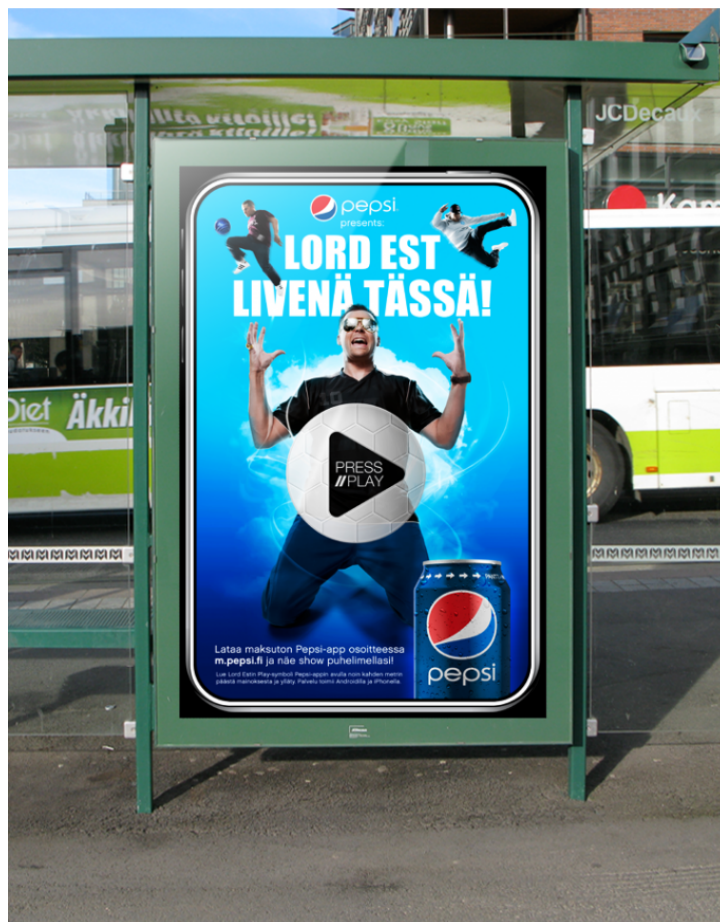
Kuva 7. The Sword of Damocles [13].

Järjestelmän avulla käyttäjä pystyi näkemään yksinkertaista grafiikkaa stereoskooppisesti ja pään liikkeet huomioiden. Järjestelmää pidetään ensimmäisenä osittaisena AR-järjestelmänä, koska käyttäjä näki osittain myös todellisuutta eikä ainostaan virtuaalia. [14.]

Nykypäivän lisätty todellisuus on historiallisista esiasteistaan poiketen hyvin pitkälti älylaitteisiin ja niiden kameroihin ja muihin antureihin kytkettyä.

2.2 AR Suomessa

Lisätty todellisuus ei ole vielä yleistynyt valtavirtaan Suomessa. Joitakin AR-toteutuksia on ollut, mutta mitenkään arkista ja jokapäiväistä siitä ei ole vielä tullut. Tähän asti eniten näkyvillä ollut AR-toteutus on kuvassa 8 näkyvä Pepsin mainoskampanja kesällä 2012.



Kuva 8. Pepsin AR-mainoskampanjan bussikatosmainos [15].

Pepsin hyvin paljon ulkomainostilaa valloittanut mainoskampanja kehotti lataamaan Pepsi-sovelluksen ja katsomaan sillä ulkomainoksia. Sovellus on edelleen tätä kirjoittaessa saatavilla Google Play- ja AppStore-sovelluskaupoista ja responsiivinen m.pepsi.fi-sivusto on vielä verkossa, mutta sovellus ei toimi. Useista yrityksistä huolimatta en saanut Lord Estiä laulamaan. Ehkä videot on poistettu palvelimelta tai jotakin on muuten vikana, kun mediatekniikan insinöörikään ei saa toimimaan.

Toinen AR-tekniikkaa hyödyntävä toteutus oli esillä *The Making of Iron Sky* -näyttelyssä Helsingin taidemuseossa Tennispalatsissa 28.9.2012—20.1.2013 (kuva 9).



Kuva 9. Lisättyä todellisuutta Iron Sky -näyttelyssä [17].

Kolmionmallista kuviota älykatsomalla kuvan päälle ilmestyi Iron Sky -tieteiselokuvasta tuttu kuunatsien avaruusalus. Kuvion ympärillä oli ohjeet, miten kuvaa voi katsoa omalla älylaitteella, ja ohjeista selviää, että toteutus on tehty käyttäen tässäkin insinööri-työssä vertailussa olevaa Junaio-älylaite-sovellusta.

Tieteen Kuvalehti on tietääkseni Suomen ensimmäinen lehti, jolla on oma AR-älylaite-sovellus. AppStore- tai Google Play -sovelluskaupasta voi ladata Tieteen Kuvalehti AR -sovelluksen, jonka avulla lehteen saa älykatsottavaa lisäsisältöä. Lehden numerossa 15/2012 dinosauruksia käsittelevä ja kuvassa 10 näkyvä aukeama oli älykatsottavissa Tieteen Kuvalehti AR -sovelluksella.

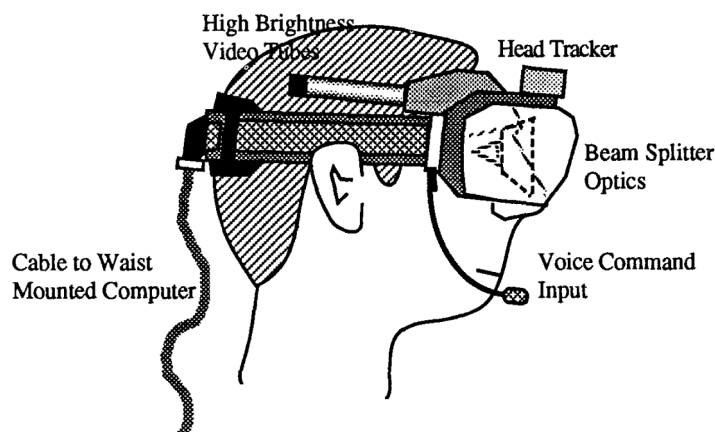


Kuva 10. Tieteen Kuvalehden numeron 15/2012 sivu 60 älykatsottuna [17].

Aukeamaa älykatsoessa lehden päälle nousi ensin kasvisto ja sitten sauropodi-hirmulisko. Sauropodi käveli hitaasti mutustaen lehtiä. AR-sisällön laukaisinkuvana toimii vasemmalla sivulla oleva suurehko kuva, ja jos kuvaa peittää tai älylaitetta liikuttaa siten, että kuva häviää näkyvistä, AR-sisältö häipyä samoin. [17.]

2.3 Lisätyn todellisuuden mahdollisuudet

AR-tekniikalla on lukemattomia käyttömahdollisuuksia yksinkertaisista mainostyyppisistä videototeutuksista monimutkaisempiin animoituihin 3D-visualisointeihin ja teollisuuskäyttöön suunnattuihin HMD-ratkaisuihin. Caudell ja Mizell [18] esittelivät kuvassa 11 näkyvän konseptin ilmailuteollisuudelle suunnatusta HUDset-järjestelmästä vuonna 1992.



Kuva 11. Caudellin ja Mizellin HUDset-konseptin komponenttikaavio [18].

HUDsetin tarkoituksena on helpottaa ja tehostaa lentokoneiden rakennusprosessia tarjoamalla lentokoneinsinööreille HUDsetin avulla ohjeita esimerkiksi porattavan reiän sijainnista. Käyttäjä näkee HUDsetin läpi reaaliaikaisesti todellisuuteen kohdistettua lisäsisältöä. [18.]

Tässä muutamia itse kehittämiäni kuvitteellisia esimerkkitaupauksia lisätyn todellisuuden mahdollisuuksista.

- Uutisten elävöitys: esimerkkinä painetun lehden uutinen jääkiekko-ottelusta, jossa Suomi on voittanut Ruotsin 6—1. Uutisessa on uutiskuva, ja kuvaa älykatsomalla voi katsoa ottelun maalit Antero Mertarannan selostamana. Älylaitteen avulla uutisen voisi myös jakaa sosiaaliseen mediaan, esimerkiksi Facebookiin tai Twitteriin.
- Mainosten elävöitys: esimerkkinä verkkokaupan mainos painetussa lehdessä. Mainosta älykatsomalla näkisi uutuustuotteen esittelyvideon, ja klikkaamalla pääsisi suoraan verkkokauppaan ostoksille. Mainostettu uutuustuote olisi valmiina verkkokaupan ostoskorissa, ja muita tuotteita voisi helposti selailla ja lisätä ostoskoriin. Älylaitteen avulla linkin verkkokauppaan tai ostoskorin sisällön voisi tietenkin jakaa sosiaaliseen mediaan.
- 3D-visualisointi: esimerkkinä painetun lehden uutinen mahdollisesti rakennettavasta Guggenheim-museosta. Uutiskuvassa havainnekuva mahdollisesti rakennettavasta museosta, ja sitä älykatsomalla lehden sivulle avautuu rakennuksen realistinen teksturoitu 3D-malli, jota voi katsoa joka suunnasta. 3D-mallin voi helpohkosti luoda arkkitehtien CAD-malleista, joten teknisesti kyse on vain tiedostojen muuntamisesta sopivaan formaattiin.

- Opetusmateriaalit: esimerkkinä moniste, jossa kemiaan liittyviä tehtäviä. Oikeat vastaukset ja selitykset näkee älykatsomalla. Selitykset voivat olla kuva-, video- tai 3D-formaatissa. Esimerkiksi molekyylijä ja niiden muodostamia yhdisteitä voisi katsoa animoituna 3D-mallina.
- Kausituotteet: esimerkkinä joulukalenteri, joka koostuu yhdestä painetusta kuvasta. Kuvaa älykatsomalla saa näkyviin päivittäin vaihtuvan AR-sisällön. Jonakin päivänä AR-sisältö voisi olla video, toisena päivänä animoitu 3D-sisältö ja kolmantena mainos, jonka kautta voisi ostaa joulukalenterin toteuttaneen yrityksen tuotteita.

Lisätty materiaali ei koskaan ole niin sanotusti kiveen hakattua ja pysyvää kuten painettu materiaali. AR-sisältöä voi päivittää ja muuttaa aina, kun haluaa, ja jotkin AR-alustat tarjoavat jo mahdollisuutta ajastaa AR-sisältöä siten, että jonkin kuvan voi ”AR-aktivoida” myöhemmin. Lisätyn todellisuuden tarjoama AR-sisällön dynaamisuus mahdollistaa esimerkiksi mainoskampanjan, jossa AR-sisältö vaihtuu joka päivä (tai joka tunti). Näin esimerkiksi verkkokauppa voisi tarjota erikoistarjouksia, jotka ovat voimassa vain hetken ja seuraavana hetkenä tarjouksessa onkin toinen tuote. AR-sisällön dynaamisuus avaa myös painetulle uutislehdelle mahdollisuuden olla reaaliajassa: uutisiin liitettyä AR-sisältöä voi päivittää jatkuvasti ja käytännössä rajattomastikin, toisin kuin edellisyydenä painettua lehteä.

3 Tuhat tarinaa Espoosta – KAMUn uusi perusnäyttely

3.1 Näyttely ja AR-teos

Espoon kaupunginmuseo KAMUn uusi perusnäyttely *Tuhat tarinaa Espoosta* kertoo Espoon historiasta alkaen kivikaudelta ja päättyen modernin kaupungin syntyyn. Näyttely haastaa pohtimaan eri aikakausien hyvän elämän tekijöitä ja sitä, mitä hyvältä eläältä on eri aikakausina odotettu. Näyttely kertoo espoolaisten identiteetistä: keitä he ovat ja miksi he ovat Espooseen tulleet. [4.]

Näyttely on jaettu eri osioihin, joista jokaisella on oma teemansa. Osioita ovat *esihistoria*, *Mankby*, *Alberga*, *Kauklahti* ja *moderni Espoo*. *Moderni Espoo* -osio on jaettu kahtia: Espoon sodanjälkeiseen selviytymiseen ja kaupungin kehittymiseen. Insinööriyönä toteutettava AR-teos tulee osioon, joka kuvaa kaupungin kehittymistä. Osion sanoma ja

visuaalinen painopiste on Espoon kasvussa, lähiöiden rakentumisessa ja kaupunkirakenteen muuttumisessa, ja tämä on pidetty mielessä kun AR-teosta on tehty. [4.]

Espoon kaupunginmuseo KAMUn uuteen *Tuhat tarinaa Espoosta* -perusnäyttelyyn tuleva tämän insinööriyön aiheena oleva AR-teos kuvaa Espoon lähiöiden kasvua ja kehitystä 1960-luvulta nykypäivään.

Näyttelytilan lattiaan kiinnitetään suurehko Espoon muotoinen tarra, joka on suunniteltu siten, että se toimii AR-laukaisinkuvana. Jotta kuva voi toimia laukaisinkuvana hyvin, sen tulee sisältää riittävän paljon yksityiskohtia, uniikkeja muotoja ja korkean kontrastin kohtia. Laukaisinkuva ei saa myöskään olla symmetrinen mihinkään suuntaan, koska se voi sekoittaa AR-alustan seurannan. Tarran suunnittelee graafikko, jolle määritellään AR-tekniset ominaisuudet, jotka kuvassa on oltava. Tarran sisältämä kuvadata asetetaan AR-alustan sisällönhallintatyökalussa laukaisinkuvaksi, eli kuvaksi, jota älykatsomalla näkee lisätyn todellisuuden keinoin toteutettua lisäsisältöä.

Toteutettavassa AR-teoksessa älykatsottava lisäsisältö on animoitu 3D-malli, joka kuvaa Espoon lähiöiden kehittymistä. AR-teos on siis animoitu ja interaktiivinen infografiikka. Lähiöiden kehitys jaetaan ajallisesti 10 vuoden jaksoihin, ja joka jaksosta luodaan oma 3D-elementti. Kuusi (50-, 60-, 70-, 80-, 90- ja 00-luvut) mallinnettua 3D-elementtiä animoidaan siten, että ne nousevat ”maan läpi” yksi kerrallaan tietyn intervallin välein. Animaation loputtua 3D-elementit jäävät paikalleen, jotta kävijä voisi ”lennellä” älylaitteen avulla ympäri Espoota ja tutkia AR-teosta lähemmin. 3D-elementit myös värikoodataan siten, että eri ajanjaksoilla tapahtunut kasvu näkyy erivärisinä malleina. Värikoodaus selitetään museokävijälle lisäsisällön avulla, eli värikoodiavain näkyy älykatsomalla AR-teosta.

3.2 AR-alustan ominaisuudet

Insinööriyönä tehtävän AR-teoksen lisäksi KAMUn tulevaan perusnäyttelyyn on tarkoitus toteuttaa yksi tai useampi AR-tekniikkaa käyttävä videoteos, eli kuva, joka herää videoksi, kun sitä *älykatsoo*. AR-videon toteutuksen on siis oltava mahdollista, ja se on otettava huomioon AR-alustaa valittaessa.

Koska Espoon kaupunginmuseossa käy myös ihmisiä, joille tekniikka ja älylaitteet eivät ole kovinkaan tuttuja, on tärkeää, että AR-teos on helppokäyttöinen ja hyvin toimiva. Käyttäjystävällisyys on yksi isoimpia kriteerejä perusnäyttelyyn tulevan AR-alustan valinnassa, koska museovieraiden turhautuminen tekniikan toimimattomuuteen halutaan minimoida. AR-teoksen on oltava niin sanotusti *idioottivarma*, eli sen AR-sisällön on lähdettävä nopeasti käyntiin, sen täytyy *träkätä* eli pysyä laukaisinkuvan päällä hyvin ja uskottavasti ja kestää katsojan liikkumista joka suuntaan.

Museossa käy myös paljon lapsia, joten eripituiset ihmiset on otettava huomioon AR-teoksen toteutuksessa, ettei käy niin, että AR-teos toimii vain, kun laukaisinkuvaa katsoo 150 cm:n korkeudelta. AR-laukaisinkuvan aktiivinen alue, eli se alue laukaisinkuvasta, joka laukaisee overlay-sisällön, on mietittävä tarkkaan siten, että overlay-sisältö lähtee helposti käyntiin. Esimerkiksi kuvan keskeltä voisi valita pienen alueen, joka laukaisee overlayn, ja tällöin overlay laukeaisi helposti, mutta aktiivisen alueen siirtyessä pois älylaitteen kameran näköpiiristä koko overlay häviää. Jos taas koko laukaisinkuva on aktiivinen, koko kuvan tai ainakin suuren osan siitä on oltava älylaitteen kameran näkyvässä, jotta overlay-sisältö aukeaa. Tällöin overlay *träckää* hyvin, koska laukaisin on suuri, mutta laukeaa vaikeammin, koska laukaisimen täytyy näkyä kamerassa melkein kokonaan. Hyvä kompromissi on valita aktiiviseksi alueeksi sellainen alue, jonka lyhyempikin ihminen näkee älylaitteen kameran läpi, mutta kuitenkin riittävän iso, jotta *älykatsomista* voi harjoittaa liikkuen ja *träkkäys* eli seuranta toimii.

Älylaitteet ovat yleistyneet nopeasti viime vuosina, ja jo 39 %:lla suomalaisista (06/2012) on älypuhelin aina mukanaan [1]. Koska monilla museovierailta on myös omia älylaitteita, heille halutaan tarjota mahdollisuus katsoa ja kokea KAMUn AR-teos myös omalla laitteellaan. Myös museosta kotiin vietävistä AR-teoksista on puhuttu, ja tämä mahdollisuus halutaan pitää avoimena. Useat AR-alustat tarjoavatkin mahdollisuutta "brändätä" AR-sovellus omin grafiikoin ja laittaa se julkisesti saataville Google Play- ja AppStore-älylaite-sovelluskaappoihin. [19.]

AR-alustan ja -teoksen haluttavat ominaisuudet pähkinänkuoressa:

- käyttäjäystävällisyys kaikenlaisille kävijöille, erityisesti
 - lapset
 - vanhukset
- toimintavarmuus
- toimivuus, erityisesti kuvantunnistuksessa ja seurannassa
- 3D-animaatio-overlaymahdollisuus
- video-overlaymahdollisuus
- mahdollisuus käyttää omaa laitetta.

4 AR-alustat

4.1 Vertailut alustat

Valmiita AR-alustoja on olemassa monia, ja niissä on paljon samoja toimintoja ja ominaisuuksia. Pyrin löytämään varteenotettavimmat vaihtoehdot Espoon kaupunginmuseon uutta näyttelyä varten ja valitsemaan niistä parhaan. Vertailuun valitsin sellaisia alustoja, jotka vaikuttivat siltä, että ne voisivat täyttää Espoon kaupunginmuseon perusnäyttelyn tarpeet. Vertailin insinööriyössä kolmea AR-alustaa: Layaria, Aurasmaa ja Junaiota.

Layar

Layar on Alankomaista lähtöisin oleva suosittu AR-alusta, joka on erikoistunut mobiililaitteilla käytettävään lisättyyn todellisuuteen. Layar on ottanut käyttöön käsitteen ”interactive print”, joka tarkoittaa painetun materiaalin elävöittämistä yrityksen Layar-sovelluksen avulla. Kun käyttäjän lataa sovelluksen älylaitteeseensa, voi sovelluksella älykatsoa painettua materiaalia, joka laukaisee digitaalisen lisäsisällön. Kun laukaisinkuvaa katsoo ensimmäistä kertaa, täytyy Layar-sovelluksessa painaa ”scan”, jolloin

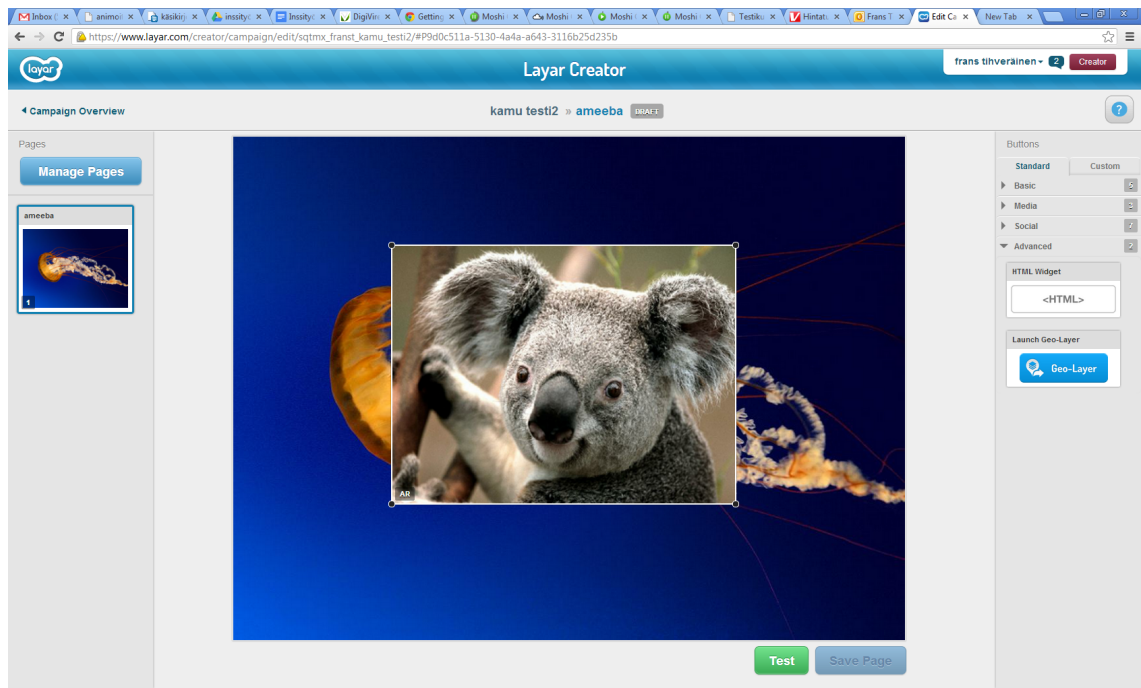
sovellus skannaa kameran näkymän ja tutkii, onko näkymässä laukaisinkuvaa. Layar-sovellus toimii uudemmilla iPhone-, iPad- ja Android-laitteilla. Sovellus on optimoitu kuvassa 12 vasemmalla näkyvälle iPhone 5 -älypuhelimelle. [20.]



Kuva 12. Applen valmistamia älylaitteita. Vasemmalta iPhone 5-, 4S- ja 4-älypuhelimet [21].

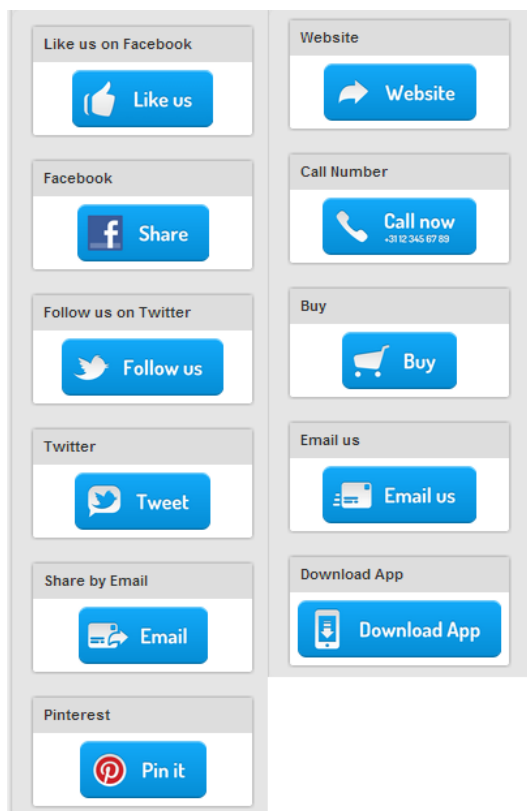
Layar tarjoaa mahdollisuutta brändätä Layar-sovellus omalla graafisella ilmeellä hintaan 2 500 €, jonka lisäksi täytyy maksaa vuosittainen 2 500 €:n lisenssimaksu. [22.]

Kuka tahansa voi luoda sisältöä Layariin käyttämällä selaimessa toimivaa kuvassa 13 näkyvää Layar Creator -työkalua.



Kuva 13. Näkymä Layar Creator -sisällönhallintatyökalusta Google Chrome -selaimessa.

Layar Creator -sisällönhallintatyökaluun ladataan painettava materiaali joko pdf-formaatissa tai jpeg- tai png-kuvatiedostoina. Kuvatiedostoja voi ladata useita kerrallaan zip-paketissa, ja materiaalin päälle voi helposti raahata digitaalista lisäsisältöä oikean reunan valikosta. Lisäsisältö voi olla kuva-, ääni- tai videotiedosto, linkkinappi tai html-pienoisohjelma. Layar Creatorissa on valmiina useita erilaisia linkkinappeja, joita voi käyttää yhdistämään painettu laukaisinkuva niin verkkokauppaan kuin sosiaaliseen mediaan. Käytettävissä olevat valmiit linkkinapit näkyvät kuvassa 14.



Kuva 14. Layar Creatorin valmiit linkkinapit.

Valmiiden linkkinappien lisäksi Creator tarjoaa mahdollisuuden ladata työkaluun omia nappigrafikoita. Layar Creatorin avulla painettuun materiaaliin voi lisätä myös Youtube-videoita tai kuvia kuvakarusellina. Valitettavasti Layar Creatorin avulla ei ole mahdollista yhdistää 3D-overlaymateriaalia mihinkään, eikä Layar muutenkaan tue muuta kuin geolokaatioperusteista 3D:tä.

Aurasma

Aurasma on Hewlett-Packardin omistama vuonna 2011 perustettu todellisuuden lisäämiseen keskittyvä yhtiö, jolla on toimistot Lontoossa ja Kaliforniassa. Aurasma-älylaitesovellus käyttää nykyisin HP:n omistuksessa olevan entisen Autonomyn kuvantunnistusteknologiaa [23]. Sovellus on voittanut lisätyllä todellisuudellaan useita palkintoja, muun muassa Best AR App, AR Awards Champion ja Best Overall AR -palkinnot lisätyn todellisuuden toimijoiden järjestämässä 2012 AR Summit Awards -tapahtumassa [24]. Kuten Layar, Aurasma on optimoitu iPhone 5 -älypuhelimelle ja toimii samalla älykatsomisen periaatteella [25]. Aurasma-älylaitesovellus skannaa ka-

meran näkymää koko ajan automaattisesti, eikä skannausta tarvitse erikseen asettaa päälle. Aurasma toimii iPhone 3GS- ja sitä uudemmissa iOS-laitteissa, joissa on kamera, sekä tehokkaissa Android-laitteissa, joissa on kamera [25].

Aurasman käyttö ja sisällön luominen on epäkaupallisille käyttäjille ilmaista. Älylaiteso-
velluksella voi luoda oman kanavan (channel), jonne voi luoda omia "Auroja" eli Au-
rasman kautta älykatsottavia AR-kokonaisuuksia: laukaisinkuvan ja overlay-materiaalin
yhdistelmiä. Älylaitteella tehtäviin auroihin voi valita overlayn sovelluksen omasta laa-
jasta overlay-kirjastosta tai laitteen muistista, ja laukaisinkuva otetaan laitteen kameral-
la. Monimutkaisempia auroja voi luoda luomalla tunnuksen Aurasman sisällönhallinta-
työkaluun Aurasma Studioon (kuvassa 15).



Kuva 15. Aurasma Studio -sisällönhallintatyökalun aloitusnäky Google Chrome -selaimessa.

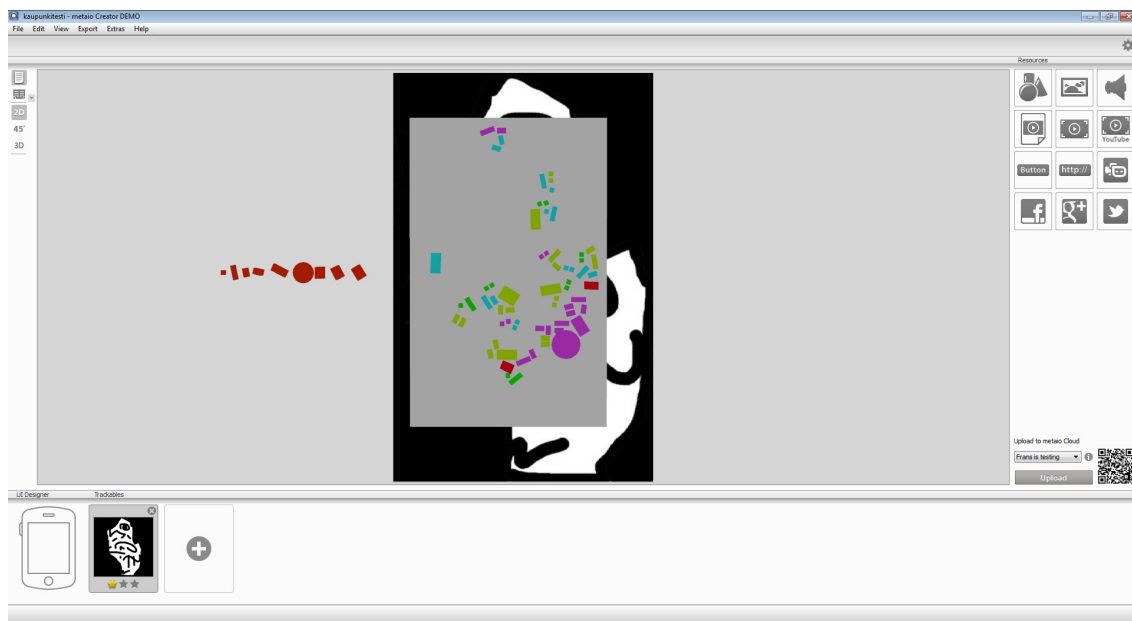
Aurasma Studioissa overlay-materiaaliksi voi ladata kuva-, video-, web- tai 3D-tiedostoja ja laukaisinkuvaksi voi määrittää kuvatiedoston tietokoneelta. Overlay-materiaalin, myös 2D-kuvat ja -videot, voi asettaa haluamallaan tavalla 3D-avaruuteen laukaisinkuvan päälle (tai ympärille). Asettelulla voi saada 2D-elementeillä aikaan niin sanotun 2,5D-efektin, kun 2D-materiaalit ovat eri tasoissa 3D-avaruudessa. Overlay-materiaaliin on mahdollista liittää *actioneita* eli tapahtumia, joilla voi lisätä käyttäjän ja auran välistä interaktiota. Tapahtumia ovat esimerkiksi napautus ja kaksoisnapautus. Näille voi asettaa eri merkityksiä, esimerkiksi napautukselle linkkitoiminto, joka vie käyttäjän tietylle verkkosivulle, ja kaksoisnapautukselle overlayn suurentaminen koko näytön kokoiseksi. Napautuksilla voi myös hallita overlaytä, niillä voi käynnistää toisen overlayn, keskeyttää overlayn tai laittaa overlayn tauolle. [19.]

Aurasman avulla on mahdollista luoda omin grafiikoin brändätty AR-älykatsomissovellus, jonka voi laittaa sovelluskauppoihin ladattavaksi. Brändättyä sovellusta varten Aurasmalle on lähetettävä grafiikkapaketti, joka sisältää muun muassa kuvakkeet sovelluskauppaa varten ja sovelluksen ”splash screenin” eli aloitusnäytön. Aurasma tarjoaa myös sovelluksen ydintä, *kerneliä*, käytettäväksi oman sovelluksen rakennuspalikkana. Aurasma perii kernelistä ja brändätystä sovelluksesta maksun, jonka suuruutta ei ole ilmoitettu julkisesti ainakaan yhtiön www-sivuilla. [19.]

Junaio ja Metaio

Junaio on saksalaisen Metaio GmbH:n oma AR-älykatsomissovellus, joka on ladattavissa ilmaiseksi iOS- ja Android-laitteille sovelluskaupoista. Metaio julkaisi Junaion vuonna 2010, ja ennen sitä Metaio oli ollut mukana muun muassa LEGO-laatikoiden AR-toteutuksissa [26]. Junaion lisätty todellisuus tukee kuva-, video-, 3D- ja äänitiedostoja. Geolokaatio- ja kuvaperusteisen seurannan lisäksi Junaion avulla on mahdollista seurata myös objekteja luomalla niistä pistepilvi Metaio Toolboxin avulla [10]. Myös Junaio on saanut tunnustusta vuoden 2012 AR Summit Awards -tapahtumassa: se sai AR Browser -luokassa kunniamaininnan [24].

Kuten Layarilla ja Aurasmalla, myös Junaiolla on oma sisällönhallintatyökalunsa helpohkoa AR-luomista varten. Junaion sisällönhallintatyökalu on kuvassa 16 näkyvä Metaio Creator, jonka kokeiluversion saa ladattua ilmaiseksi Metaion sivuilta.



Kuva 16. Metaio Creator -sisällönhallintatyökalu.

Kokeiluversion avulla voi seurata enintään kahta kuvaelementtiä ja lisätä niille kaksi AR-elementtiä. Kokeiluversion AR-sisällön voi jakaa älykatsottavaksi Metaion Junaio-sovellukseen. Metaio Creatorin kokoversio maksaa 490 €, eikä sillä ole kokeiluversion rajoitteita. Metaio tarjoaa myös maksullisia mobiili-, PC- ja web SDK -kehityspaketteja, joiden avulla ohjelmistokehittäjät voivat rakentaa omia, Metaion AR-teknologiaa hyödyntäviä sovelluksiaan. [27.]

4.2 Alustan valinta

Toteutin vertailun kokeilemalla alustojen omia esittelymateriaaleja ja tekemällä joitakin omia testejä käyttäen alustojen sisällönhallintajärjestelmiä. Testilaitteena oli Espoon kaupunginmuseon hankkima iPad-älylaite. Uusin iPad valittiin testilaitteeksi, koska kaikki sovellukset toimivat sillä ja se oli hankintahetkellä tehokkain markkinoilla oleva tablettitietokone. Laitteen valintaa tuki myös se, että Aurasma ja Layar ovat optimoituja iPhone 5 -älypuhelimelle, ja iPad käyttää samaa iOS 6 -käyttöjärjestelmää. iPhone 5 -laitetta ei hankittu testausta varten, koska se on kokonsa puolesta liian pieni museon näyttelykäyttöön.

Layarin esittelymateriaalina on kuvassa 17 näkyvä Layared-lehti. Se on yhtiön itse tuottama 31-sivuinen painotuote, joka esittelee Layar-sovellusta ja sen mahdollisuuksia. Lehden saa tilata layar.com-verkkosivulta, ja sitä voi lukea ja älykatsoa myös verkosta pdf-versiona.



Kuva 17. Layared-lehden kansi ja iPhone-näkymä kannen älykatsomisesta.

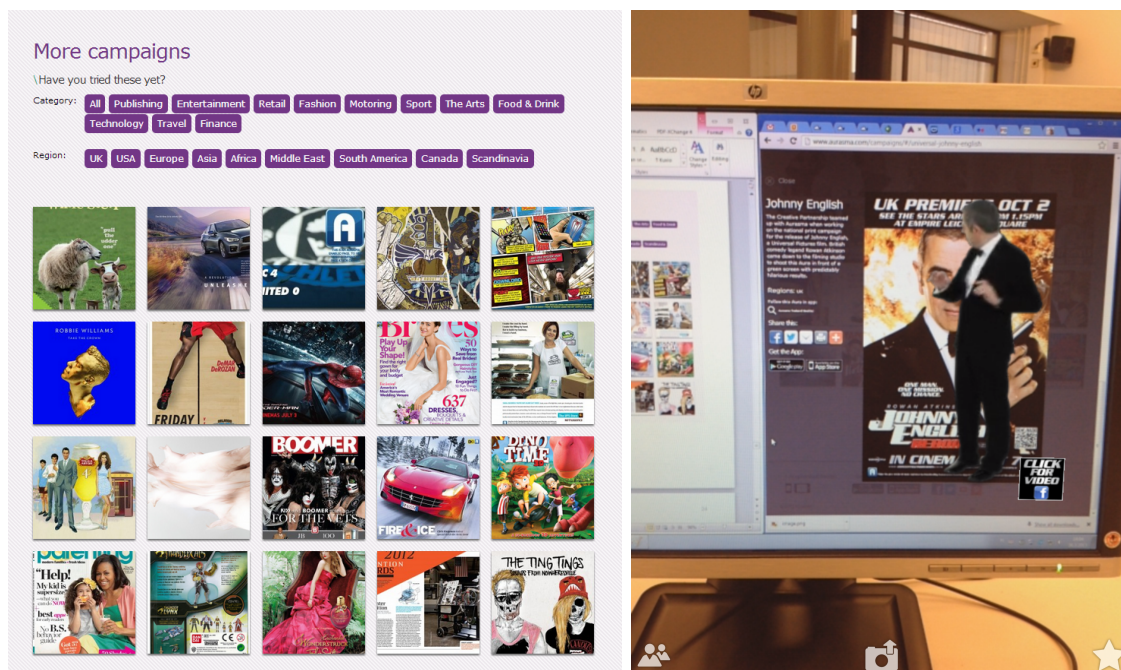
Layared-lehteä älykatsomalla näkee kaiken, mitä Layar Creator -sisällönhallintatyökalun avulla on mahdollista tehdä. Lehden sivuilla on videoita, kuvia ja linkkinappeja, joiden kautta pääsee sosiaaliseen mediaan ja erinäisiin internetin paikkoihin. Layarin trakkäys on kohtalaista, mutta ei mitenkään erityisen hyvää, ja AR-sisältö näyttää usein tärisevän niin iPad- kuin iPhone-laitteilla. Omat testit (kuva 18) trakkäävät yhtä hyvin (tai huonosti) kuin lehden sivujen AR-sisältö, mutta videon playnappia painamalla video aukeaa koko näytölle eikä ole kohdistettu tosimaailmaan kuten Layar-lehden etusivu. Huonoa Layarissa on trakkäyksen lisäksi se, että ensimmäistä kertaa älykatsoessa pitää aina painaa "scan".



Kuva 18. Oma kokeilu Layarilla.

Toteutin Layar-testin käyttämällä Layar Creatoria. Käytin laukaisinkuvana Windowsin omaa medusaa, jonka päälle lisäsin omatekoisen videon. Kuvassa näkyvä koala-kuva (sekin Windowsin oma) on tarkoitettu videon ”esikatselukuvaksi”, eikä se liity mitenkään videoon. Kuvan alareunassa näkyvä ”rate the layar app” on Layarin mainos, josta pääsee eroon maksamalla 15 € laukaisinkuvaa kohden.

Aurasmalla on esittelymateriaalina verkkosivuillaan runsas valikoima näyttäviä ”Super Auroja” eli auroja, joita voi katsoa Aurasma-älylaitesovelluksella ilman kanavien tilaamista [28]. Super Aurat (kuvassa 19) ovat pääasiassa 3D- ja videosisällöistä koostuvia, mutta joissakin on myös linkkinappeja.

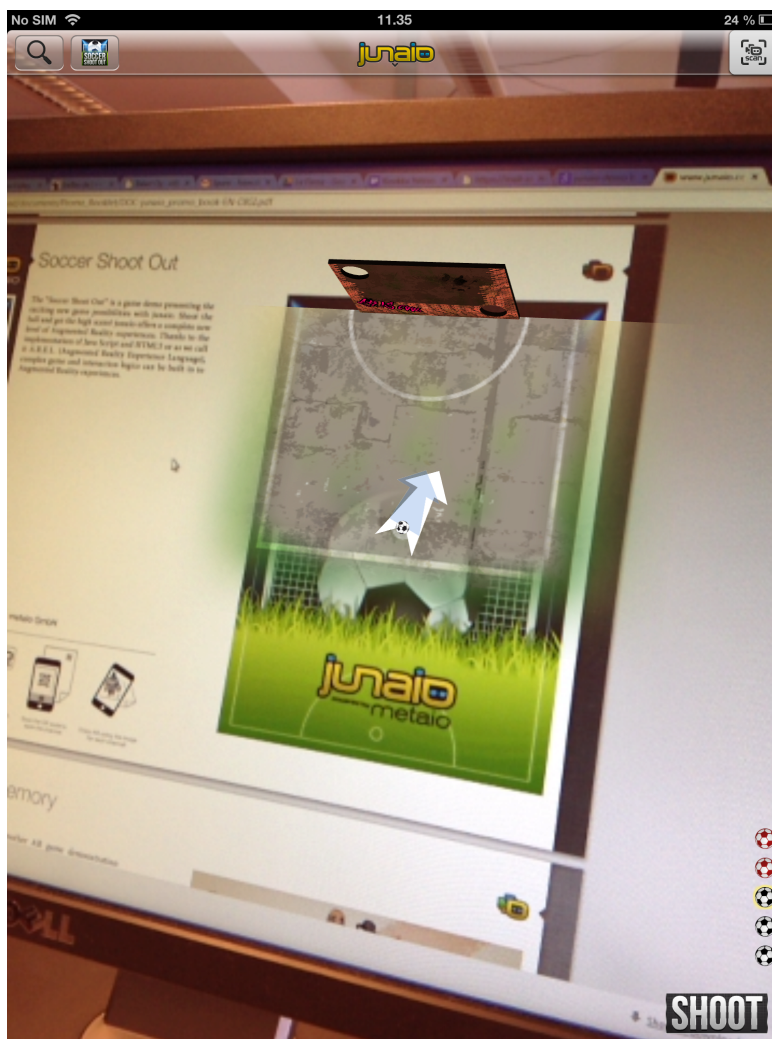


Kuva 19. Aurasma-älylaitesovelluksella älykatsottavissa olevia ”Super Auroja” ja iPad-kuvakaappaus Johnny English -video-aurasta.

Aurasma skannaa kameranäkymää koko ajan, joten erillistä skannauskomentoa ei tarvitse sovellukselle antaa. Aurasma reagoi laukaisinkuvaan nopeasti ja tuo näytölle palluran, joka viestii käyttäjälle siitä, että nyt jotakin tapahtuu. Pallura pyörii hyvin pienen hetken, minkä jälkeen AR-sisältö, Aurasman terminen Aura, lähtee käyntiin. Aurasman trökkäys on huomattavasti parempaa ja tasaisempaa kuin Layarin. Aurasma kadottaa AR-sisällön heti, kun laukaisinkuva häviää kameran näkökentästä kokonaan, mutta pitää siitä yllättävän hyvin kiinni, vaikka laukaisinkuvasta peittää suuren osan.

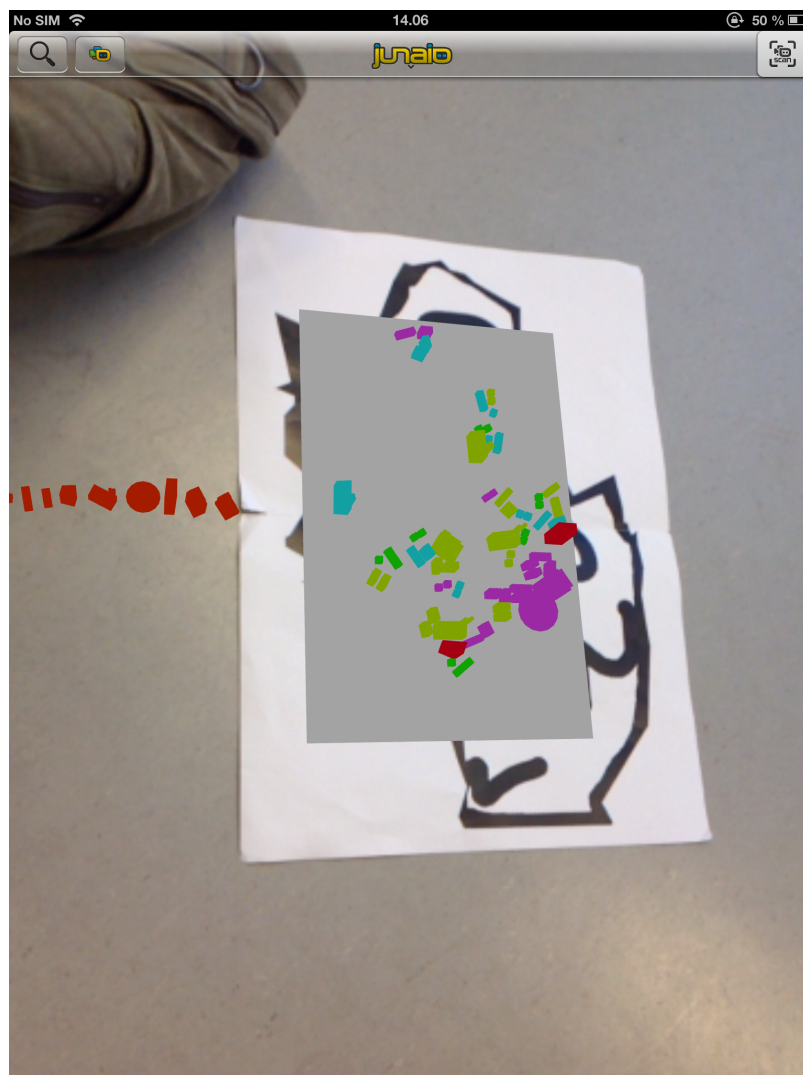
Toteutin muutamia omia testejä Aurasmalla käyttäen Aurasma Studio -sisällönhallintatyökalua. Omat testit (kuva 4 sivulla 5) trökkäsivät yhtä hyvin kuin Aurasman esittelymateriaalina olevat Super Aurat ja toimivat muutenkin todella hyvin.

Junaion esittelymateriaalina on Junaio Demo Book, jonka voi ladata junaio.com-verkkosivulta pdf-muodossa. Demo Book esittelee Junaion avulla toteutettuja AR-toteutuksia, jotka sisältävät pääasiassa interaktiivisia 3D-lisäsisältöjä (kuva 20).



Kuva 20. Junaio Demo Book -esittelymateriaalissa oleva interaktiivinen Soccer Shoot Out -AR-peli. Tämä 3D-toteutus tärisi oudosti eikä pysynyt laukaisinkuvan päällä paikallaan.

Demo Bookin joka sivulla on QR-koodi, joka täytyy skannata painamalla sovelluksesta ”scan”, ennen kuin AR-sisältöä voi älykatsoa kuvasta. Uusi iPad lataa sisällön nopeasti, ja sisältö trääkkää hyvin joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta. iPhone 4 -laitteella sisällön latautuminen on huomattavasti hitaampaa, ja sovellus tökkii pahasti. Huomionarvoinen häiriö Junaioissa on sovelluksen käyttöliittymän ja kameranäkymän kääntyminen laitteen pysty/vaaka-orientaation mukaan. Kääntyminen häiritsee AR-kokemusta huomattavasti, sillä sovellus näyttää hetken aikaa kameranäkymää väärin päin. Oma, kuvassa 21 näkyvä testi .obj-formaatin 3D-sisällöllä ei toiminut niin hyvin kuin olin odottanut, vaikka tein sen täysin Metaio Creator -ohjeiden mukaisesti.



Kuva 21. Oma testi Junaiolla ja Metaio Creator -sisällönhallintatyökalulla.

Malli välkkyi epäsäännöllisesti, ja käyttöliittymän kääntymistä esiintyi aina, kun laitetta käänsi.

Vertailutulokset

Asiakkaalle käyttöön tulevalta AR-alustalta vaaditaan tiettyjä asioita, ja taulukossa 1 on esitetty vertailtujen AR-alustojen tärkeimmät ominaisuudet ja alustojen suorituskyky näissä ominaisuuksissa. Valitsin seuraavat ominaisuudet vertailutaulukkoon:

- Tuetut seurantatyypit, eli mitä AR-alusta seura eli *träkkää*.
- Tuetut overlay-materiaalit, eli mitä lisättyä *älykatsottavaa* sisältöä AR-alusta tukee.
- Seurannan taso, eli kuinka hyvin lisäsisältö kohdistuu laukaisinkuvaan ja on reaaliaikaisesti interaktiivinen. Tämä ominaisuus on erittäin tärkeä, koska se määrittää pitkälti sen, miten uskottavalta lopullinen AR-teos näyttää.
- Skannaus, eli miten AR-alusta skannaa laukaisinkuvan. Jatkuva skannaus on käyttäjäystävällisempää ja intuitiivisempää kuin erikseen skannaus.
- AR-sisällön paikka, eli paikka, jossa AR-lisäsisältöä säilytetään. Periaatteessa oma palvelin on turvallisin paikka, mutta käytännössä sisältö ladataan kerran laitteelle, jossa se pysyy, kunnes sovellus tai sen välimuisti poistetaan.
- Hinta, eli paljonko AR-alustan käyttö maksaa.
- Muuta, eli muita huomioita alustasta.

Taulukko 1. AR-alustojen vertailu [19; 20; 10].

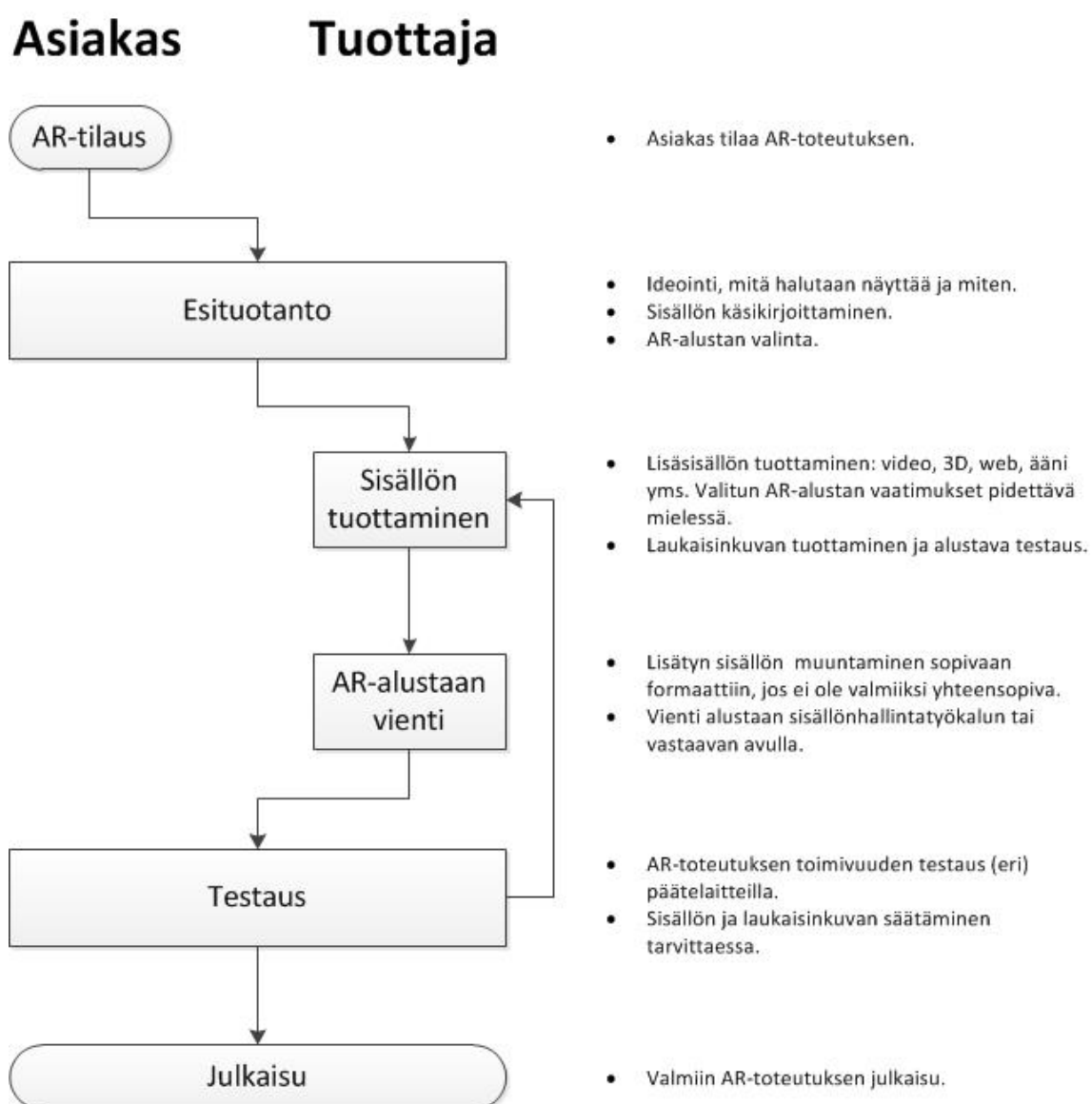
Ominaisuus	Layar	Aurasma	Junaio
Tuetut seuranta-tyypit	kuva	kuva	kuva, objekti
Tuetut overlay-materiaalit	kuva, video, linkit, napit, html-pienoisohjelma	kuva, video, 3D, web	kuva, video, Youtube, 3D, audio, napit, sosiaalinen media
Seurannan taso	kohtalainen	erittäin hyvä	erittäin hyvä
Skannaus	ensimmäisellä kerralla	jatkuva	ensimmäisellä kerralla
AR-sisällön paikka	oma palvelin	Aurasman palvelin	oma palvelin, Youtube, tai Metaio Cloud
Hinta	15 €/sivu, halvempi jos ostaa enemmän. Ilmainen, jos sallii mainokset.	0 € epäkaupallisille käyttäjille omaan kanavaan. Kaupallisille käyttäjille maksullinen, mutta hinta ei julkinen.	490 € + alv
Muuta	selkeästi painettuihin lehtiin ja mainontaan suunnattu alusta.	2D-materiaalin asettelu 3D-avaruudessa hyvä lisä. Monimutkaiset action-linkitykset mahdollisia. Ilmainen.	Hidas latautuminen ja toiminta iPhone 4 -laitteella. Käyttöliittymän kääntymishäiriö. Lisäsisältö pitää hyvin kiinni laukaisinkuvasta.

Vertailun ja testien perusteella valitsin insnoöriyön toteutuksessa käytettäväksi alustaksi Aurasman. Metaion Junaio on hyvä kakkonen, ja Layar pääsee kolmannelle sijalle. Aurasma täyttää KAMUn vaatimukset ja on lisäksi ilmainen. Aurasma toimii myös vanhemmilla laitteilla paremmin kuin Junaio, eikä älykatsoessa tarvitse koskaan painaa skannausta erikseen päälle. Junaion käyttöliittymän kääntyminen on häiriötekijä, joka kiusaa varsinkin museokävijöitä, jotka älykatsovat omilla laitteillaan.

5 Kasvu – AR-teos

AR-toteutusprosessi

AR-teosta toteutettaessa asiakkaan on hyvä olla tietyissä (ei-teknisissä) työvaiheissa mukana. Kuviossa 1 selviää laatimani yleispätevä AR-työnkulku, jossa asiakas on mukana esituotanto- ja testausvaiheessa.



Kuvio 1. AR-työnkulun prosessikaavio.

AR-teoksen tuottajan eli digimediatoimiston tai tässä tapauksessa insinööriyön tekijän on tarvittaessa oltava yhteydessä valitun AR-alustan ylläpitäjiin ja selvítettävä mahdolliset ongelmakohdat, joita saattaa esiintyä.

Esituotanto – Ideointi ja lähdemateriaali

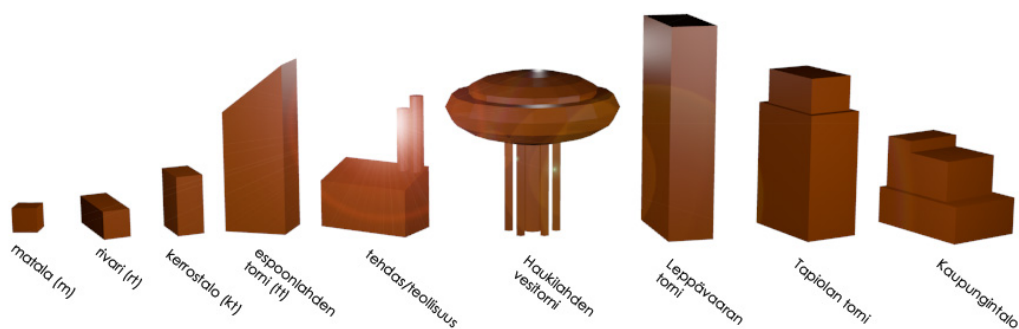
Ajatus AR-teokseen tuli insinööriyön tekijältä. Eräänä iltana sain ajatuksen AR-tekniikkaa hyödyntävästä teoksesta Espoon kaupunginmuseolle. Olin kuullut tulevasta perusnäyttelystä ja muistin, että eräässä osiossa teemana on lähiöiden rakentuminen. Keksinkin, että lähiöiden on noustava museovieraiden silmien edessä AR-tekniikalla! Olin ajatuksestani harvinaisen innoissani ja päädyin esittelemään sitä toisen palaverin yhteydessä museohenkilöstölle. Ilokseni AR-ajatukseni sai positiivisen vastaanoton. Työstimme ideaa yhdessä KAMUn näyttelypäällikkö Carina Jaatisen ja museolehtori Tiina Heron kanssa, ja päädyimme siihen, että toteutan AR-teoksen museolle insinööriyönä. Ristin AR-teoksen *Kasvuksi*.

AR-teokseen tulevat 3D-mallit mallinnetaan huomattavasti oikeaa mittakaavaa suurempina, sillä oikeassa mittakaavassa korkeimmatkaan rakennukset tuskin näkyisivät teoksen katselijalle lainkaan. Mittakaava valitaan visuaalisesti miellyttäväksi, kuitenkin siten, että AR-teoksen informatiivinen sisältö pysyy selkeänä. Espoon kaupunginmuseon museolehtori Tiina Hero tuotti mallinnusta varten Espoon kartalle piirretyn 3D-kaavoituksen, josta käy ilmi, minkälaisia rakennuksia mallinnetaan, mihin kohtaa ne sijoitetaan ja mihin kymmenen vuoden ajanjaksoon ne kuuluvat. AR-teoksesta nousevaan animoituun 3D-kaupunkimalliin pyritään sisällyttämään joitakin maamerkkejä, joita katsoja saattaa tunnistaa ja jotta mallilla on edes joitain visuaalisia yhteyksiä tosielämän Espooseen. Mallinnettavia rakennustyyppisiä on yhdeksän: matala talo, rivitalo, kerrostalo, teollisuusrakennus, vesitorni, kaupungintalo ja kolme erinäköistä tornitaloa. Rakennusmallit matala talo, rivitalo ja kerrostalo ovat geneerisiä malleja, jotka kuvaavat erityyppisiä asuinrakennuksia summittaisesti. Isommat rakennusmallit vesitorni, tornitalot ja teollisuusrakennus kuvaavat paikalla olevia oikeita rakennuksia ja toimivat 3D-mallissa maamerkkeinä.

Sisällöntuotanto – 3D-mallinnus, animointi ja valaistus

Koska AR-teokseen tarvittavat mallit ovat rakennuksia eivätkä esimerkiksi ihmiskasvoja tai lohikäärmeitä, mallit on helppo rakentaa 3D-ohjelman valmiista primitiiveistä eli perusmuodoista; tässä tapauksessa laatikoista, sylintereistä ja palloista. Insinööriyön 3D-mallin mallinnusta ja animointia varten käytin ilmaista ja avointa Blender-ohjelmaa, mutta muitakin ohjelmia, kuten Autodesk 3D Studio Maxia, olisi voitu käyttää saman lopputuloksen aikaansaamiseksi [29].

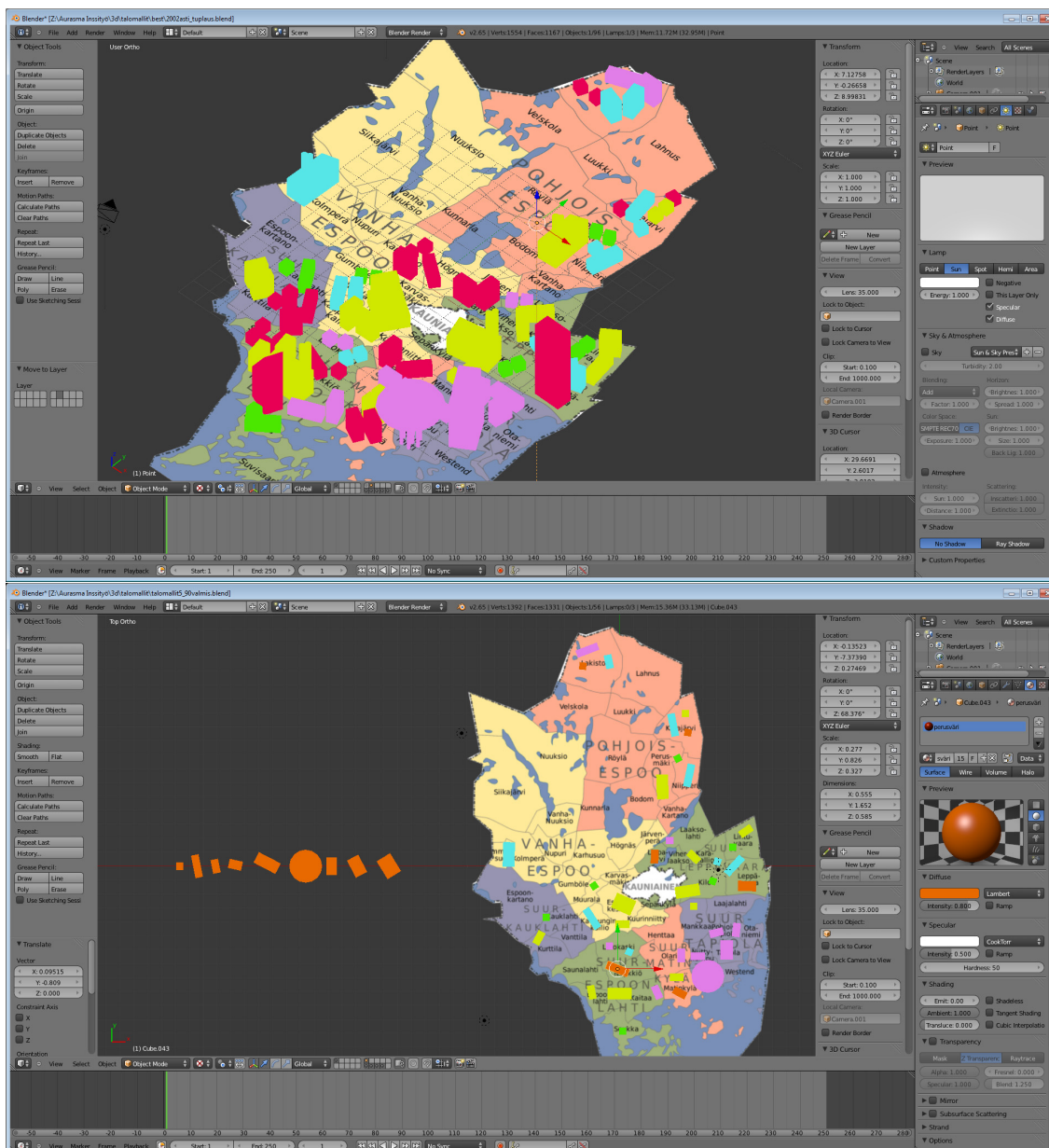
Asuinrakennukset matala talo, rivitalo, kerrostalo ja Leppävaaran torni mallinnettiin yksinkertaisista laatikoista. Tapiolan torni ja kaupungintalo mallinnettiin myös laatikoista, joita *extrudattiin* eli ”pursotettiin” vähän ylöspäin. Espoonlahden torni ja teollisuusrakennus mallinnettiin nekin laatikoista, ja niiden ylätasoa nostettiin hieman viistokaton aikaansaamiseksi. Lisäksi teollisuusrakennukseen liitettiin kaksi sylinteriä savupiipuiksi. Haastavin malli oli Haukilahden vesitorni, joka mallinnettiin litistetyistä palloista ja sylintereistä, jotka lopuksi liitettiin yhteen eli *joinattiin*. Kuvassa 22 näkyy yksi vaihe AR-teokseen tulevista 3D-rakennusmalleista.



Kuva 22. Renderöidyt 3D-mallit AR-teokseen tulevista rakennustyypeistä.

Koska AR-teoksen tarkoituksena on kuvata Espoon kaupunkirakenteen kehittymistä 1960-luvulta nykypäivään, mallinnetuista malleista on rakennettava 10 vuoden kokonaisuuksia, joissa jokaisessa on siihen kymmenlukuun kuuluvat mallit. Blenderissä tämä käy asettelemalla yhden kymmenluvun 3D-rakennusmalleja haluttuihin paikkoihin, siirtämällä ne omaan kerrokseen, *layeriin*, ja yhdistämällä ne yhdeksi 3D-objektiksi.

Kun tämän on tehnyt kaikille kymmenluvulle, tuloksena on kuusi 3D-objektia, jotka kukin koostuvat kymmenen vuoden rakennusmalleista. 3D-objektit ovat myös omilla kerroksillaan, joten niitä on helppo tarkastella yksitellen tai yhdessä asettamalla halutut kerrokset näkyviin. Kuvassa 23 näkyy Blender-ohjelman käyttöliittymä ja 3D-rakennusmalleja aseteltuna Espoon kartalle museolehtori Tiina Heron ”kaavoituksen” mukaisesti.



Kuva 23. Näkymiä 3D-malleista Blender-ohjelmassa. Karttakuva on avustamassa mallien asetelussa mutta ei tule lopulliseen 3D-malliin.

3D-mallit animoitiin yksinkertaisesti asettamalla avainkehyksiä, *keyframeja*, objekteihin. Jotta mallit näkyisivät värillisinä älykatsottaessa, on Blender-ohjelmassa luotava valaistus, joka valaisee mallit kolmiulotteisesti. Aurasman ohjeistus on käyttää kolmea valoa, joten asettelin malliin kolme valopistettä siten, että valoa tulee kaikista suunnista.

Koska 3D-malli renderöidään reaaliajassa käyttäjän eli älykatsojan laitteella, on mallit syytä pitää mahdollisimman yksinkertaisina. Yksinkertaisuus 3D-mallissa tarkoittaa mallissa olevien verteksien, eli 3D-avaruudessa olevien pisteiden, ja pintojen lukumäärän minimoimista. Tämä onnistuu parhaiten luomalla malleja laatikoista, välttämällä *smoothausta*, eli mallin silentämistä, ja määrittämällä pyöreiden muotojen segmenttien määrä mahdollisimman pieneksi. Älylaitteiden suorituskyvyn kasvaessa myös yksityiskohtaisemmat ja monimutkaisemmat 3D-AR-toteutukset tulevat mahdollisiksi tulevaisuudessa.

Vienti Aurasmaan

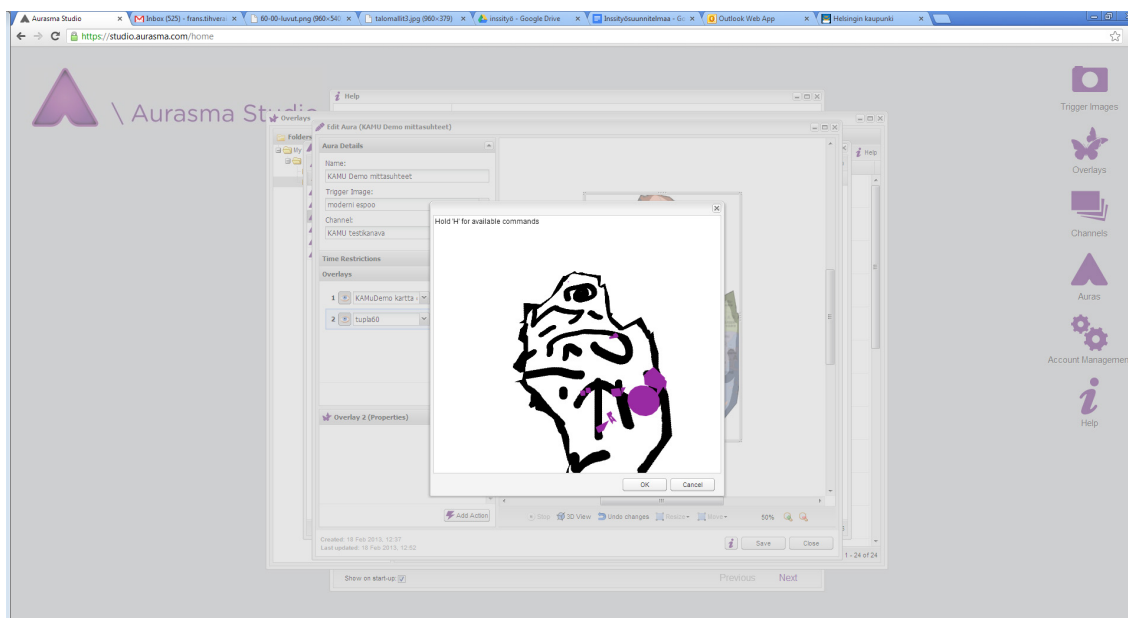
Blender-ohjelmassa on valmiina mahdollisuus viedä malli animaatioineen collada .dae-muotoon, mutta jotta Aurasma hyväksyy mallin, on otettava tiettyjä asioita huomioon. Vuosikymmeneen sisältyvien mallien on oltava yhdistettyjä yhdeksi objektiksi, koska Aurasma pystyy käsittelemään enintään 20 objektia kerrallaan. Liittämällä rakennukset yhteen objektiin saadaan 3D-objektien määrä minimoitua ja optimoitua Aurasmalle. Myös mallin kaikki pinnat on muutettava kolmioiksi käyttämällä Blenderin *triangulate*-modifiaaria, ja animoinnin *keyframeja* eli avainkehyksiä on oltava jokaisen objektin, myös valojen, ensimmäisellä ja viimeisellä kehyksellä. Export- eli vientivaiheessa kaikki vietävät objektit on valittava valintatyökalulla, sitten on mentävä valikosta File → Export → Collada, ja Collada-vientiasetuksista on ruksattava Selection only.

Aurasman 3D-overlayt tulee viedä Aurasma Studioon .tar-paketissa, joka sisältää seuraavat elementit:

- .dae-tiedostopäätteinen Collada-formaatissa oleva staattinen tai animoitu 3D-sisältö

- tekstuurit .png-muodossa, jos niitä on. Tekstuurien tulee olla neliön muotoisia ja pikselikooltaan joko 128 x 128, 256 x 256, 512 x 512 tai 1024 x 1024 pikseliä.
- 256 x 256 pikselin kokoinen thumbnail.png-niminen kuvatiedosto, jota käytetään Aurasma Studioissa overlayn esikatselukuvakkeena. Kuvake ei näy Auran älykatsojille.
- .mp3-äänitiedosto, jos overlayn kanssa halutaan toistaa ääntä.

.tar-paketin voi tehdä muun muassa ilmaisella 7zip-pakkausohjelmalla. 3D-paketti tuodaan Aurasma Studio -sisällönhallintatyökaluun overlay-sisällöksi, minkä jälkeen se liitetään laukaisinkuvaan ”Auraksi”. Kuvassa 24 näkyy Aurasma Studion 3D-view-näkymä, jossa 3D-lisäsisältö asetellaan oikeassa koossa oikeaan kohtaan xyz-avaruutta.



Kuva 24. 3D-lisäsisällön asettelua testausta varten tehdyn laukaisinkuvan päälle Aurasma Studio -sisällönhallintatyökalussa.

3D-mallin asettelu laukaisinkuvan päälle on tarkkaa; pienikin erhe mallin koossa näkyy varmasti AR-toteutuksessa. Onneksi Aurasma Studion 3D View -näkyvässä on helppo hallita lisäsisällön paikkaa ja kokoa.

Ongelmia

3D-mallin viennissä Aurasma-alustalle oli useita ongelmia, joihin oli keksittävä toimivat ratkaisut. Ongelmia olivat teksturoidun karttakuvan näkyminen huonosti tai ei ollenkaan ja .tar-paketin toistuvat hylkäykset Aurasma Studiossa.

Espoon muotoisen karttakuvan näkyviin saaminen onnistui useiden mutkien kautta. Ensin yritin sisällyttää karttakuvan Blenderissä tekemääni 3D-malliin, ja teinkin tätä muutamalla eri tapaa. Ensin kokeilin Blenderin kätevää "*import image as plane*" -toimintoa, jolla karttakuva näkyi Blenderissä ihan kuin pitääkin *alpha*- eli läpinäkyvyyskanavan kanssa, mutta kun mallin vei Aurasma Studion kautta älykatsomisvaiheeseen, läpinäkyvissä kohdissa näkyi vain epämääräistä sahalaitaista pintaa, jollaista ei tulisi olla näkyvissä ollenkaan. Toinen epäonnistunut yritys oli muotoilla *plane*, eli taso, Espoon muotoon ja teksturoida se uv-unwrappaamalla. Tämän yrityksen lopputuloksena oli Espoon muotoinen taso, mutta ei tekstuuria. Paras ja onnistunein ratkaisu, joka jälkikäteen paljastui vielä edellisiä huomattavasti helpommaksi ja vähätöisemmäksi, oli käyttää erillistä .png-kuva-overlayta. Otin siis karttakuvatason kokonaan pois animoidusta 3D-mallista ja korvasin sen toisella kuva-overlaylla Aurasma Studiossa. Lopullisessa Aurassa on siis kaksi overlayta: yksi animoitu 3D-malli, joka sisältää animoidut 3D-objektit ja valot, ja toinen läpinäkyvyyttä tukeva .png-kuva-overlay, joka on Espoon muotoinen karttakuva.

3D-mallin vienti Aurasma Studioon aiheutti monesti ärsyttäviä häiriöilmoituksia. Vaikka olin mielestäni tehnyt kaiken Aurasman 3D-ohjeiden mukaisesti, Aurasma Studio valitti monenlaisia virheilmoituksia, kun koetin syöttää .tar-muotoista 3D-pakettia sisällönhallintatyökaluun. Ainut ratkaisu tähän oli tarkistaa kaikki työvaiheet ja varmistua siitä, että kaikki olennaiset asiat oli tehty eli: objektien yhdistäminen, pintojen kolmiointi, avainkehukset oikeissa paikoissa, objektien valinnat tehty oikein ja "selection only" ruksattuna vientivaiheessa. Yleensä listan läpikäynti riitti selvittämään ongelman, mutta muutamalla kerralla olin aivan ymmälläni mallin hylkäyksen syystä.

6 Yhteenveto

Insinööriyönä toteutettiin kolmiulotteinen AR-teos Espoon kaupunginmuseo KAMUlle. Teos kuvaa Espoon kaupunkirakenteen kehittymistä 1950-luvulta nykypäivään. Insinööriyö aloitettiin sisällön suunnittelulla ja tarpeiden määrittämisellä, minkä jälkeen kartoitettiin ja vertailtiin olemassa olevia lisätyn todellisuuden alustoja. Vertailussa vertailtiin AR-alustojen tärkeimpiä ominaisuuksia, muun muassa käyttäjäystävällisyyttä, tuettuja sisältötyyppejä ja seurannan tasoa. AR-alusta Aurasma pärjäsikin parhaiten alustavertailussa, ja se valittiin toteutuslupaksi. AR-teoksessa oleva animoitu 3D-malli luotiin käyttämällä avointa Blender-3D-ohjelmaa. 3D-mallia hiottiin monta kertaa, ja pieniä parannuksia tehtiin useita. Lopputuloksena syntyi kolmiulotteinen, reaaliaikaisesti interaktiivinen ja informatiivinen lisätyn todellisuuden tekniikoita hyödyntävä AR-teos, *Kasvu*.

Insinööriyössä sain hyvän yleiskuvan AR-tekniikan nykytilasta. Kartoitin ja vertailin AR-alustoja ja toteutin AR-teoksen alusta loppuun asiakkaalleni Espoon kaupunginmuseo KAMUlle. Valmis teos on esillä KAMUssa lokakuusta 2013 eteenpäin, ja kuvia siitä voi katsella liitteesstä 1. Insinööriyötä tehdessäni opin hyvin paljon AR-tekniikasta ja sen tarjoamista uusista mahdollisuuksista. Uskon olevani jopa pioneeriasemassa siinä, että ensimmäisenä maailmassa tein kaupunkirakenteen kehittymistä kuvaavan AR-toteutuksen; en ole ainakaan kuullut, nähnyt tai lukenut sellaisesta missään muualla.

AR-tekniikoiden yleistyessä ja älylaitteiden suorituskyvyn kehittyessä lisätystä todellisuudesta ja älykatsomisesta tulee varmasti lähi vuosina jokapäiväistä, varsinkin älylaitteita paljon käyttävän nuoremman väestön keskuudessa. AR-tekniikka avaa staattiseen painettuun mediaan uuden, interaktiivisen, dynaamisen ja sosiaalisen ulottuvuuden, jonka läheskään kaikkia mahdollisia käyttökohteita ei ole vielä keksitty. Vain mielikuvi- tus on rajana AR-tekniikan sovelluksia ideoitaessa. Valmiita AR-alustoja on olemassa monia, ja useisiin on mahdollista luoda ilmaiseksi sisältöä pelkän älylaitteen avulla. Monimutkaisempia ja räätälöidympiä AR-sisältöjä varten tarvitsee vielä kuitenkin vähintään tunnuksen AR-alustan sisällönhallintatyökaluun ja paljon monipuolista mediateknistä osaamista.

AR-lisäsisällöksi on mahdollisuus asettaa lähes mitä vain digitaalista mediaa: videoita, kuvia, ääntä, staattista tai animoitua 3D-sisältöä, ja mikä parasta, web-sisältöä over-

layn tai linkin muodossa. Monipuolinen sisällöntuotanto vaatii monipuolista osaamista, ja parhaisiin tuloksiin pääsee, kun tekijöinä ovat alansa parhaat. Lisätty todellisuus on niin monipuolinen ja uusi ala digimediamaailmassa, että se avaa ovet monille uusille työpaikoille ja yrityksille lähitulevaisuudessa. Itsekin perustin pienen yrityksen, Himmee Creative Multimedian (himmee.fi), jonka avulla aion tarjota AR-osaamistani myös muille.

Lähteet

- 1 Mediascope Europe Fi Results. 2012. Verkkodokumentti. iab Europe. <www.iab.fi>. Luettu 5.2.2013.
- 2 KAMU Espoon Kaupunginmuseo. 2009. Verkkodokumentti. museot.fi. <http://www.museot.fi/museohaku/index.php?museo_id=21035>. Luettu 5.2.2013.
- 3 Museot ja näyttelyt. 2012. Verkkodokumentti. Näyttelykeskus WeeGee. <http://www.weegee.fi/fi-FI/Museot_ja_nayttelyt>. Luettu 12.3.2013.
- 4 Jaatinen, Carina. 2013. Näyttelypäällikkö, Espoon kaupunginmuseo KAMU, Espoo. Sähköpostiviesti 6.3.2013.
- 5 Azuma, Ronald T. 1997. A Survey of Augmented Reality. Verkkodokumentti. <<http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>>. Luettu 8.2.2013.
- 6 Haku - täydennetty todellisuus. 2008. Verkkodokumentti. Tietotekniikan termitalkoot. <<http://www.tsk.fi/tsk/termitalkoot/fi/node/266>>. Luettu 20.3.2013.
- 7 Milgram P., Takemura, H., Utsumi A., Fumio K. 1994. Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. Verkkodokumentti. <http://etclab.mie.utoronto.ca/publication/1994/Milgram_Takemura_SPIE1994.pdf>. Luettu 11.3.2013.
- 8 2D-overlay. 2013. Verkkodokumentti. Wikitude. <<http://www.wikitude.com>>. Luettu 27.2.2013.
- 9 Layar. 2013. Verkkodokumentti. Layar. <<http://www.layar.com/what-is-layar/>>. Luettu 3.3.2013.
- 10 Developer Portal. 2013. Verkkodokumentti. Metaio. <<http://dev.metaio.com/creator/getting-started/core-features/>>. Luettu 8.2.2013.
- 11 Sensorama 3D. Verkkodokumentti. Sensorama 3D. <<http://www.sensorama3d.com/>>. Luettu 3.3.2013.
- 12 Heilig, Morton L. 1961. Sensorama Simulator. Verkkodokumentti. <<http://www.mortonheilig.com/SensoramaPatent.pdf>>. Luettu 3.3.2013.
- 13 Sutherland, Ivan. 2012. A.M. Turing Award. Verkkodokumentti. <http://amturing.acm.org/photo/sutherland_3467412.cfm>. Luettu 3.3.2013.

- 14 Rheingold, Howard.1991. Virtual Reality. Lontoo. Secker & Warburg.
- 15 Tyynelä, Petteri. 2012. Pepsi & Lord Est - Pelaat ja juhlit. Verkkodokumentti. <<http://petterityynela.com/?p=1244>>. Päivitetty 3.5.2012. Luettu 16.3.2013.
- 16 Hero, Tiina. 2013. Museolehtori, Espoon kaupunginmuseo KAMU, Espoo. Sähköpostiviesti 11.1.2013.
- 17 Jensen, Mikkel J. 2012. Sauropodi ei hosunut syödessään. Tieteen Kuvalehti 15/2012, s. 60.
- 18 Caudell, T.P.; Mizell, D.W. 1992. Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. System Sciences.
- 19 Aurasma Partner Guidelines. 2013. Verkkodokumentti. Aurasma. <<http://www-cdn.aurasma.com/wp-content/uploads/Aurasma-Partner-Guidelines.pdf>>. Luettu 12.3.2013.
- 20 Layar. 2013. Verkkodokumentti. Layar <<http://www.layar.com>>. Luettu 10.3.2013.
- 21 iPhone-kuva. 2013. Verkkodokumentti. Apple. <<http://www.apple.com/iphone/compare-iphones/>>. Luettu 6.4.2013.
- 22 Layar App Service. 2013. Verkkodokumentti. Layar. <<http://www.layar.com/app-service/>>. Luettu 20.3.2013.
- 23 About Us. 2013. Verkkodokumentti. Aurasma. <<http://www.aurasma.com/about-us/>>. Luettu 20.3.2013.
- 24 Awards. 2013. Verkkodokumentti. Augmented Reality Summit. <<http://www.augmentedrealitysummit.com/index.php/awards>>. Luettu 2.3.2013.
- 25 Supported Devices. 2013. Verkkodokumentti. Aurasma. <<http://www.aurasma.com/supported-devices/>>. Luettu 12.3.2013.
- 26 The Leaders in Augmented Reality. 2013. Verkkodokumentti. Metaio. <<http://www.metaio.com/company/>>. Luettu 19.3.2013.
- 27 Metaio. 2013. Verkkodokumentti. <<http://www.metaio.com>>. Luettu 19.3.2013.
- 28 Latest campaigns. 2013. Verkkodokumentti. Aurasma. <<http://www.aurasma.com/campaigns/>>. Luettu 20.3.2013.
- 29 Blender. 2013. Verkkodokumentti. <<http://www.blender.org>>. Luettu 9.2.2013.

Valmis AR-teos

