

# 3D-MALLIN HYÖDYNTÄMINEN ARKEOLOGISESSA TUTKIMUKSESSA

Case: Virtuaalinen Lahden kylä

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Mediatekniikka  
Tekninen visualisointi  
Opinnäytetyö  
Kevät 2016  
Riikka Järveläinen

Lahden ammattikorkeakoulu  
Mediatekniikka

JÄRVELÄINEN, RIIKKA:

3D-mallin hyödyntäminen  
arkeologisessa tutkimuk-  
sessa  
Case: Virtuaalinen Lah-  
den kylä

Teknisen visualisoinnin opinnäytetyö, 54 sivua, 7 liitesivua

Kevät 2016

TIIVISTELMÄ

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, millaisia uusia mahdollisuuksia 3D-mallit tuovat arkeologisiin tutkimuksiin. 3D-mallinnuksen avulla voidaan rekonstruoida esineitä, patsaita, rakennuksia tai vaikka kokonaisia ympäristöjä, jotka ovat vain osaksi olemassa tai joita ei enää ollenkaan ole olemassa.

Opinnäytetyö käsittelee sitä, kuinka 3D-malleja voidaan hyödyntää arkeologisessa tutkimuksessa ja minkälaisia prosesseja ja ongelmatilanteita niiden luomisessa voidaan kohdata. Opinnäytetyö sisältää myös tietoa arkeologisesta tutkimuksesta ja sen ongelmallisuudesta. Työssä esitellään lyhyesti mittaus- ja tallennustekniikoita, joiden avulla saadaan taltioitua kolmiulotteista tietoa todellisesta kohteesta. Näitä tekniikoita käytetään apuna 3D-mallin luonnissa ja joidenkin niistä avulla voidaan jopa suoraan tuottaa 3D-malli, kuten esimerkiksi laserskannauksella.

Työssä myös esitellään 3D-mallien erilaiset esitystavat. Tällaisia ovat still-kuvat, animaatiot, virtuaalimallit, virtuaalitodellisuus ja 3D-tulostus. Esitystapa tulee valita käyttötarkoituksen, vaadittujen ominaisuuksien ja kohdeyleisön mukaan. Esityksiin voidaan lisätä sanallista tietoa ja tunnelmaa luovia elementtejä. Työssä havainnollistetaan esitystapoja erilaisin esimerkein.

Opinnäytetyössä käsitellään myös Lahden museolle projektityönä tehtyä virtuaalimallia. Projektin lopputuloksena oli kolmiulotteinen virtuaalimalli vanhasta Lahden kylästä ja Lahden torin arkeologisesta kaivausalueesta.

Asiasanat: 3D-malli, rekonstruktio, arkeologinen tutkimus, still-kuva, animaatio, virtuaalimalli, virtuaalitodellisuus, 3D-tulostus

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Media Technology

JÄRVELÄINEN, RIIKKA: Utilization of 3D models in  
archaeological research  
Case: Virtual village of Lahti

Bachelor's Thesis in visualization engineering, 54 pages, 7 pages of appendices

Spring 2016

ABSTRACT

---

The aim was to examine what kind of new possibilities 3D models bring to archaeological research. Artifacts, statues, structures or even whole environments, that are only partially existent or are totally nonexistent, can be reconstructed with 3D modelling.

This thesis deals with how 3D models can be utilized in archaeological research and what kind of processes and problematic situations there can be when creating them. The study also contains basic information about archaeological research and its problematic nature. The paper briefly introduces measurement and recording techniques, which enable the capture of three-dimensional information on the real world. These techniques are used to help with the creation of 3D models and some of them can even be used directly to produce a 3D model, for example with laser scanning.

The paper also introduces various presentation techniques of 3D models. These include still images, animations, virtual models, virtual reality and 3D printing. The presentation must be chosen based on the intended use, required properties and the target audience. Verbal information and elements that create atmosphere can be added to presentations. In this paper, presentation techniques are illustrated through examples.

This thesis also introduces the virtual model which was made for Lahti City Museum as a project assignment. The result of this project was a three-dimensional virtual model, which presents Lahti's old village and the archaeological excavation of the town square.

Key words: 3D model, reconstruction, archaeological research, still image, animation, virtual model, virtual reality, 3D printing

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	3D-MALLIT ARKEOLOGISESSA TUTKIMUKSESSA	2
2.1	Arkeologinen tutkimus	2
2.2	Mittaus- ja tallennustekniikan valinta	4
2.3	Erilaiset mittaus- ja tallennustekniikat	5
2.3.1	Fotogrammetria	5
2.3.2	3D-laserskannaus	7
2.4	3D-malli ja -mallintaminen	9
2.4.1	Materiaalit	10
2.4.2	Valaistus	12
2.4.3	Renderöinti	12
2.5	Käyttötarkoitukset	14
2.6	Pienoismallit ja virtuaalimallit	15
3	OHJELMISTOT	16
3.1	Mallinnusohjelmistot	16
3.1.1	3ds Max	16
3.1.2	Cinema 4D	17
3.1.3	Blender	18
3.2	Pelimootorit	19
3.2.1	Unity 3D	19
3.2.2	Unreal Engine 4	20
4	ESITYSTAVAT	22
4.1	Still-kuvat	22
4.2	Animaatiot	24
4.3	Virtuaalimallit	26
4.4	Virtuaalitodellisuus	28
4.5	3D-tulostus	30
5	CASE: VIRTUAALINEN LAHDEN KYLÄ	32
5.1	Lähtötilanne ja projektin suunnittelu	32
5.2	3D-mallin luonti	34
5.2.1	Tärkeitä mallinnuksessa huomioitavia asiota	34
5.2.2	Mallin suunnittelu	35

5.2.3	Mallinnus	36
5.2.4	Materiaalit	37
5.3	Virtuaalimallin luonti	38
5.3.1	Käyttöliittymän suunnittelu	39
5.3.2	3D-mallien vienti Unityyn	39
5.3.3	Valaistus	40
5.3.4	Käyttöliittymän totutus	40
5.3.5	Skriptaus	42
5.3.6	Testaus	43
5.4	Projektin yhteenveto	43
5.5	Käyttökokemukset	45
5.6	Kehityskohteet	46
6	YHTEENVETO JA TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT	48
	LÄHTEET	49
	LIITTEET	55

# 1 JOHDANTO

Kaksiulotteista grafiikkaa on käytetty vuosisatoja visualisointikeinona, mutta myös kolmiulotteisuutta on jo pitkään käytetty tähän tarkoitukseen, esimerkiksi pienoismallien ja patsaiden muodossa.

*3D-grafiikan teho perustuu pitkälti siihen faktaan, että koemme ympärillämme olevan maailman kolmiulotteisena ja täten ihmiselle on luontevaa seurata kolmiulotteista esitystä (Hintikka, Kojo & Metsämäki 1998, 5).*

Tieto- ja viestintäteknologian kehityksen myötä kolmiulotteisen fyysisen mallin rinnalle on noussut kolmiulotteinen tietokoneella tehty malli, jota kutsutaan 3D-malliksi. Viime vuosikymmeninä 3D-mallien käyttö on kasvanut suuresti ja siksi tätä on alettu käyttämään myös historian visualisoinnissa.

Opinnäytetyössä tutkitaan, miten ja miksi 3D-mallinnusta on hyödynnetty arkeologisessa tutkimuksessa ja sen visualisoinnissa. Työssä tarkastellaan myös kolmiulotteisuuden mahdollisuuksia arkeologisissa tutkimuksissa ja niiden tulosten esittelyssä sekä tutkitaan, millaisiin eri käyttötarkoituksiin 3D-malleja on niissä käytetty. Työssä tutustutaan myös 3D-mallin erilaisiin esitystapoihin.

Opinnäytetyössä esitellään projektityönä Lahden museoille tehty Lahden kylä -virtuaalimalli. Työssä käydään läpi mallin luontiprosessia vaihe vaiheelta ja käsitellään luomisessa ilmenneitä ongelmia ja niiden ratkaisutapoja. Työssä käsitellään lopuksi myös käyttökokemuksia ja kehitysideoita virtuaalinen Lahden kylä -mallista.

## 2 3D-MALLIT ARKEOLOGISESSA TUTKIMUKSESSA

### 2.1 Arkeologinen tutkimus

Arkeologinen tutkimus johtaa yleensä arkeologisten jäännösten löytämiseen ja niiden ymmärrykseen. Useimmissa tapauksissa se paradoksaalisesti johtaa myös kontekstin ja sen jäännösten tuhoutumiseen. Tuhoisan luonteen takia kaivaukset vaativat tarkkuutta ja korkearesoluutioisia tallennustekniikoita, jotka maksimoivat kaivaustilanteen kulttuuriperinnön säilyttämisen. (De Reu, De Smedt, Herremans, Van Meirvenne, Laloo & De Clercq 2013.)

Arkeologinen tutkimus on tapa kerätä tietoa ja tehdä tulkintoja ihmisten menneisyydestä säilyneiden löydösten avulla. Sen keskeisimpiä menetelmiä ovat muinaisjäännösten investoinnit ja arkeologiset kaivaukset. (Yle 2015b.) Tässä tapauksessa investoinnilla tarkoitetaan tietyllä alueella tehtyjä jo ennalta tunnettujen muinaisjäännösten kuntotarkastuksia ja uusien löydösten etsimistä (Yle 2015a).

Arkeologisten kenttätutkimusmenetelmien avulla hankitaan suurin osa arkeologisista lähdeaineistoista. Arkeologin tärkein lähdeaineiston hankintamenetelmä on kaivaus. Arkeologiset kaivaukset suoritetaan poistamalla maaperää kaivausalueelta pienissä osissa. Kaivausalueen tutkimuksessa muinaisjäännös tai ainakin osa siitä tuhoetaan järjestelmällisesti, jotta saataisiin kerättyä mahdollisimman paljon tietoa kyseisestä löydöksestä. Kaivausten aikana tehdyt löydökset ja havaitut rakenteet dokumentoidaan tarkasti. Dokumentoitujen tietojen perusteella tulisi pystyä tarvittaessa rekonstruoimaan kohde perusteellisesti yksityiskohtineen. Kaivaukset ovat ainutkertaisia tapahtumia, joita on vaikea muuttaa tai täydentää jälkikäteen, siksi arkeologeilta vaaditaan tarkkaa ja järjestelmällistä otetta työhön. Kaivaus on usein laajemman arkeologisen tutkimusprosessin ensimmäinen ja ratkaisevin vaihe, jonka jälkeen kaivauksen avulla saatu todistusaineisto voidaan tulkita, tallentaa ja muuttaa kirjalliseksi ja visuaaliseksi tiedostoiksi. (Halinen, Immonen, Lavento, Mikkola, Siiriäinen & Uino 2008, 206-207.)



KUVA 1. Lahden torikaivaus (Helamaa 2014)

Hyvänä esimerkkinä arkeologisesta kaivauksesta on Lahden torikaivaus (kuva 1), joka on tähän mennessä suurin Suomessa suoritettu arkeologinen kaivaus. Lahden torikaivaus suoritettiin touko-syyskuun aikana vuonna 2013. Tutkimusalueen pinta-ala oli 1,3 ha, ja kaivaukset työllistivät 35 henkilöä. Lahden torikaivauksen tarkoituksena oli saada kerättyä kasaan torialueen alla säilynyt tieto Lahden kylän historiasta. Kaivausten jälkeä arkeologinen tutkimus jatkui löytöaineiston järjestämisellä, analysoinnilla ja raportoinnilla. (Lahden Museot 2013.)

Arkeologia on luonnostaan tuhoutuva tiede, joka edellyttää kovaa työtä, jotta saataisiin tallennettua riittävästi tietoa alalta. Kaikki tiedot tulee myös pyrkiä tallettamaan mahdollisimman tarkkoina ja laajoina tallenteina. Aiemmat perinteiset tiedon tallennusmenetelmät ovat pakottaneet arkeologeja harkitsemaan sitä, mikä tieto on oleellista ja tulisi kerätä talteen, ja mikä tieto tulisi hylätä. Tällainen tiedon suodattaminen jo välittömästi rajoittaa tutkimuksen mahdollisia lopputuloksia ja suuntaa myöhempiä tulkintoja kohti säilytettyjä kaivausmenetelmiä ja tietoja.

## 2.2 Mittaus- ja tallennustekniikan valinta

Jatkuva uusien tunnistimien, tiedonkaappausmenetelmien ja korkearesoluutioisten 3D-esitysten kehittäminen sekä nykyisten menetelmien jatkuva parantuminen ovat edistäneet merkittävästi perintötietojen dokumentointia, säilyttämistä ja esittelyä sekä tutkimusten kasvamista kulttuuriperinnön alalla. Tämä edistys johtuu myös osaksi siitä, että digitaalisen dokumentoinnin vaatimukset ja tarpeet ovat kasvaneet, koska arkeologiset kohteet ovat usein erilaisia tarkkuuksiltaan ja mittakaavoiltaan. (Remondino & Rizzi 2010.)

Menetelmien valinta tai niiden yhdistäminen riippuu vaadittavasta tarkkuudesta, esineen mitoista, sijaintirajoituksista, pinnanominaisuuksista, rakennelman siirrettävyydestä ja käytettävyydestä. Valintaan vaikuttavat myös työryhmän omat kokemukset, hankkeen lopullinen tavoite ja budjetti. Nykyään on monenlaista keskustelua siitä, mitkä menetelmät ja tekniikat ovat parhaimpia missäkin tilanteissa. Toistaiseksi parhaana ratkaisuna pidetään erilaisten tunnistimien ja tekniikoiden yhdistelemistä, varsinkin silloin kuin mitataan suuria ja monimutkaisia kohteita. (Remondino & Rizzi 2010.)

Tosin suurien kohteiden dokumentointiin ja säilytykseen kehitetyt 3D-mallit vaativat tekniikoiltaan tietynlaisia ominaisuuksia. Maanmittaustyössä tarkkuus ja luotettavuus ovat tällaisia tärkeitä ominaisuuksia, paitsi tapauksissa, joissa työn tarkoituksena on vain tehdä nopea ja yksinkertainen visualisointi. Maaperän tunnistukseen käytettyjen tekniikoiden tulisi olla myös siirrettäviä monien kohteiden saavutettavuusongelmien, sähkönpuuttumisen ja sijaintirajoitusten vuoksi. Myös tekniikoiden kustannusten pitäisi olla kohtuullisia, sillä useimmissa arkeologisissa projekteissa on vain rajalliset budjetit, eikä niillä välttämättä ole varaa kalliisiin maanmittausvälineisiin. Useimmissa työprojekteissa on vain rajoitetusti aikaa dokumentointiin kaivausalueella, minkä takia on tärkeää, että mittaustietojen hankintatekniikat ovat suhteellisen nopeita. Erityyppisten ja -laajuisten työmaiden ja esineiden takia tekniikan pitää myös sallia erilaisten mittakaavojen käyttö sekä sen pitäisi myös soveltua kaikkiin mahdollisiin olosuhteisiin. (Remondino & Rizzi 2010.)

## 2.3 Erilaiset mittaus- ja tallennustekniikat

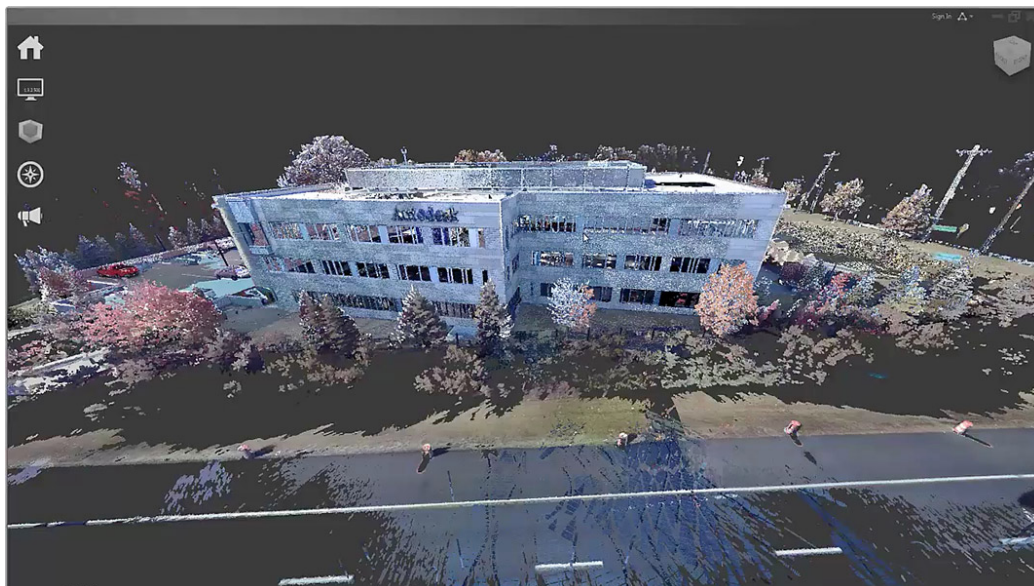
Kappaleessa käsitellään erilaisia mittaus- ja tallennustekniikoita, joita hyödynnetään todellisten arkeologisten löydösten tallennuksessa. Tällaisia yleisimpiä arkeologisissa tutkimuksissa käytettyjä tekniikoita, joita ovat fotogrammetria ja 3D-laserskannaus.

### 2.3.1 Fotogrammetria

Fotogrammetria eli kuvamittaus tarkoittaa tapaa tuottaa 3D-mittastuloksia valokuvien ja muiden sähkömagneettisten säteilyjen tuottamien kuvien avulla. Fotogrammetrian avulla voidaan luoda valokuviin perustuva kolmiulotteinen esitys yksittäisestä esineestä tai kohteesta.

Vaikka kuvapohjainen 3D-mallinnus onkin jo osoittanut arvokkuutensa kaivausten tallennuksessa, on sen soveltaminen tähän mennessä ollut vielä pienimuotoista. Merkittävin syy tähän on suoraviivaisten menetelmien puutos. Tällaiset suoraviivaiset menetelmät mahdollistaisivat nopean käytön ja koko kaivaustyönkulunyhdistymisen. Kuvapohjaista 3D-mallinnusta on käytetty laajasti tallentamaan yksittäisiä ominaisuuksia ja esineitä, mutta harvoin kokonaisten kaivausprosessien rekisteröintiin. (De Reu ym. 2013.)

Fotogrammetriaa voidaan hyödyntää laajasti museotarkoituksiin. 3D-tekniikoiden mahdollisuuksia museoissa tutkinut, 3D-tekniikan käyttöösi erikoistunut, Versoteq-yritys on sitä mieltä, että tällä hetkellä luotettavin ja tarkin 3D-skannausmenetelmä museosovelluksia varten on fotogrammetria. Se on hyvä vaihtoehto, koska se on menetelmänä kaikista lähimpänä jo museoille tuttua tuotekuvauksia. (Versoteq 3D Solutions Oy 2015.)



KUVA 2. Pistepilviaineisto ReCap-ohjelmassa (Autodesk 2016b.)

Yksi kärkiasemassa oleva todellisen tiedon kaappausohjelma on Autodeskin ReCap (kuva 2). Todellista tietoa on fyysinen objekti ja paikkatieto, jotka on tallennettu anturien, esimerkiksi laserskannerin tai valokuvauksen, avulla. ReCap-ohjelman avulla suunnittelijat, rakentajat ja insinöörit voivat yhdistää todellisuudesta kaapattua tietoa suunnittelu- ja rakennusprosessihinsa. Valokuvia ja laserskannausta hyödyntämällä ReCap nopeuttaa suunnittelua muuntamalla todellisuuden 3D-tiedoksi. ReCap-ohjelmassa voidaan työstää erilaisilla laitteilla tallennettua tietoa, joten tiedon kaappamiseen voidaan käyttää skanneria, syvyyskameraa, digitaalista järjestelmäkameraa tai vaikka älypuhelinia. ReCapin avulla saatua 3D-tietoa voidaan käyttää muiden Autodesk-ohjelmien, kuten AutoCad ja 3ds Max, kanssa. (Autodesk 2016b.)

ReCapista on saatavilla kolme erilaista versiota, joista jokainen sisältää omanlaisia erikoisominaisuuksia. ReCap on perusversio, jonka avulla voidaan tuoda ohjelmaan pistepilviaineistoa ja tarkastella sitä. Se on vapaasti käytettävissä ja ilmaiseksi ladattavissa Autodeskin nettisivuilla. ReCap 360 on hieman laajempi kokonaisuus, ja se tarjoaa kehittyneempiä työkaluja organisointiin, yhteistyöhön ja mittaukseen. Tässä versiossa on mukana Photo on ReCap 360 –lisäosa, jonka avulla voidaan tuottaa 3D-malleja

suoraan valokuvista. ReCap 360 Ultimate hyödyntää automaattisesti rekisteröityjä toiminnollisuuksia ja kattavaa tiedottamiskapasiteettia, joten tämän version avulla vuorostaan saadaan nopeutta työnkulkuun ja lisää tarkkuutta. (Autodesk 2016a.)

### 2.3.2 3D-laserskannaus

3D-laserskannaus, toiselta nimeltään laserkeilaus, on mittausmenetelmä, jolla mitataan pisteitä kohteeseen koskematta. Yksinkertaisesti sanottuna tällä menetelmällä saadaan x-, y- ja z-koordinaattien avulla kohde tai ympäristö talteen kolmiulotteisessa muodossa. Keilaimen lasersäde mittaa etäisyyksiä ja muodostaa niiden perusteella kolmiulotteisen pistepilviaineiston. Mittaustarkkuus ja laitteiden laatu ovat tärkeitä asioita mittaus-työssä. Tarkkuuteen vaikuttavat itse laitteet ja sen käyttäjät. Laitteiden pitää olla luotettavia, eli niiden mittaustulosten pitää olla identtisiä samassa paikassa toistettujen mittausten suhteen. On tärkeää myös, että käyttäjä tietää laitteen ominaisuudet ja käyttää niitä oikein. Laitteiden täytyy lisäksi olla kestäviä, jotta ne pysyvät toimintakuntoisina myös hankalissa tilanteissa kaivaustyömailla. (Miettunen 2015, 4.)

Laserskannerit ovat suhteellisen kevyitä laitteita, ja sopivatkin siksi hyvin arkeologisten kaivausalueiden olosuhteisiin. Niiden käytettävyyttä rajoittaa kuitenkin se, että niiden kustannukset ovat mittavat ja työmäärä on suuri. (Debenjak 2014.) Laserskannerien täyttä kapasiteettia tulisi pystyä käyttämään tehokkaasti, jotta niiden käytöstä saataisiin kustannustehokkaimpaa. Oikealla tavalla hyödynnettynä laserskannaus on useimmissa tapauksissa huomattavasti perinteisiä mittausmenetelmiä tarkempaa ja nopeampaa. (Nordic Geo Center 2015, 11.) Kuitenkin on otettava huomioon, että laserskannerin tuottaman pistepilviaineiston muuttaminen 3D-malliksi on asiantuntemusta vaativaa, työlästä ja aikaa vievää (Debenjak 2014).

3D-laserskannerit ovat tehneet merkittävän murroksen mittausteknologi-  
aan, mutta ne ovat kehittyneet ja kaupallistuneet vasta pääosin 2000-lu-  
vulla (Nordic Geo Center 2015, 11). 3D-laserskannaus tarjoaa tavan ke-  
rätä tarkkaa pintatietoa fyysisestä objektista siihen koskematta. Joissakin

tapauksissa perinteiset maanmittauskeinot voivat jopa olla vaarallisia kohteen fyysisestä rakenteesta johtuen, ja näissä tapauksissa 3D-skannauksesta on suuria hyötyjä. Siksi 3D-skannaustekniikan käyttö on potentiaalista esimerkiksi arkeologian (kuva 3), digitaalisen rakennustutkimuksen ja työmaanseurannan erilaisissa sovelluksissa. 3D-skannerin avulla voidaan toteuttaa kätevästi sisä- ja ulkotilojen mittausta. (Song, Wang, Hamilton & Arayici 2009, 400.)



KUVA 3. Historiallisten monumenttien dokumentointia laserskannausta hyödyntäen (Towrie 2010)

Valokuvat antavat mahdollisuuden kaapata todellisuutta kaksiulotteisessa esitysmuodossa, kun taas laserskannaus mahdollistaa kolmiulotteisen todellisuuden kaappauksen. Tyypillinen kolmiulotteinen esitysmuoto on pistepilvi-tiedosto, joka koostuu tarkassa 3D-avaruudessa miljoonista värillisistä pisteistä. Aikaisemmin fotogrammetrian yhteydessä esitelty ReCap-ohjelma prosessoi myös tällaisia massiivisia tiedonmääriä sisältäviä pistepilviä ja tarjoaa mahdollisuuden koota, parantaa ja organisoida niiden sisältämää tietoa. Ohjelma myös valmistelee tiedon sellaiseen muotoon, että sitä voidaan hyödyntää myös muissa Autodeskin ohjelmissa. (Auto-

desk 2016a.) Laserskanneri nopeuttaa maanmittausprosessia rekisteröimällä tietoja samaan aikaan, kun sillä skannataan. ReCap-ohjelman avulla tällainen prosessi kestää päivien ja kuukausien sijasta vain muutamia tunteja. (Autodesk 2016c.)

Läpinäkyvien, kiiltävien ja valoa peilimäisesti heijastavien esineiden skannaaminen on vielä nykytekniikallakin haasteellista. Heijastuksien estämiseen on kehitetty suihke, joka tekee esineistä väliaikaisesti mattapintaisia, mutta hauraimpia ja arvokkaimpia esineitä ei ole hyvä altistaa minkäänlaisille kemikaaleille, etteivät ne haurastu enempää. Tähän tarkoitukseen kuitenkin kehitellään jatkuvasti uusia menetelmiä, joiden avulla pystytään kiiltävistäkin esineistä tekemään virtuaalimalleja onnistuneesti. Epästabiliin esineiden 3D-skannauksessa on myös omat haasteensa, koska esinettä liikuttaessa kevyet rakenteet, kuten kankaat, liikahtavat väistämättä esinettä kääntäessä. Tällöin objektin muoto voi muuttua tahattomasti kesken skannaustyön. Verkot, ristikot ja muut pieniä reikiä sisältävät esineet aiheuttavat 3D-skannauksessa myös pään vaivaa, mutta onneksi tällaiset haasteelliset kohdat voidaan lisätä malliin jälkikäteen, mutta ne eivät tosin silloin vastaa täydellisesti alkuperäistä. (Versoteq 3D Solutions Oy 2015.)

#### 2.4 3D-malli ja -mallintaminen

Kolmiulotteinen mallintaminen on esineiden tai ympäristöjen luomista tietokoneellisesti erityisten mallinnusohjelmistojen avulla. 3D-malliksi kutsutaan mallinnettua kolmiulotteista objektia, joka muodostuu erilaisista monikulmioista eli polygoneista, jotka taas muodostuvat yksittäisistä pisteistä. Mallinnus tapahtuu 3D-avaruudessa, jossa jokaisella mallin pisteellä on oma sijaintinsa, joka määräytyy kolmen koordinaattipisteen avulla. Tietokoneen 3D-avaruus on kuutio, jonka keskellä on origo eli keskipiste. Origin avulla määritetään muiden pisteiden sijainti. (Keränen, Lamberg & Penttinen 2005, 175 - 178.)

Mallinnusohjelmat tarjoavat yleensä mallien luomiseen ja käsittelemiseen sarjan työkaluja. Niiden lisäksi ne tarjoavat myös kokoelman yksinkertaisia valmiita malleja, esimerkiksi palloja, kuutioita, sylinterejä ja kartioita. Näitä

malleja käytetään usein monimutkaisempien muotojen luomisen pohjana. (Sharpe, Lumsden & Woolridge 2010, 280.)

#### 2.4.1 Materiaalit

3D-mallit tarvitsevat pintamateriaalin näyttääkseen aidommilta. Tekstuurit voidaan tehdä itse mallinnusohjelmien materiaalieditoreilla tai sitten voidaan ostaa valmiita tekstuureita. (Keränen ym. 2005, 178.) Internetissä on myös tarjolla paljon ilmaisia tekstuureita, joiden tekijät ovat halunneet antaa tuotoksensa muiden käyttöön. Valokuvia käytetään usein apuna 3D-mallien teksturoinnissa, mutta valokuvia käyttäessä on myös syytä ottaa huomioon tekijänoikeudet. Materiaaleilla on suuri vaikutus lopputulokseen yhdessä valaistuksen kanssa.

3D-mallien teksturointiin käytetään usein tekstuurikarttoja, joilla voidaan luoda mallien pintaan erilaisia ominaisuuksia, kuten kiiltoa, väriä, läpinäkyvyyttä tai painauma. Tekstuurikarttoihin kuuluvat muun muassa diffuusi-, painauma-, normaali- ja korkeuskartat. Diffuusikartan (diffuse map), toisin sanoen värikartan, avulla voidaan määrittää 3D-mallin väri, esimerkiksi fotorealistisen mallin teksturointiin voidaan käyttää valokuvaa todellisesta materiaalista.

Diffuusikartta sitoo bittikarttakuvan kolmiulotteisen geometrian pintaan näyttäen samalla sen alkuperäisten pikselien värit. Painaumakartta (bump map) puolestaan saa aikaan illusion 3D-mallin pinnan epätasaisuudesta ilman, että mallin geometriaa tarvitsee muuttaa monimutkaisemmaksi. Painaumakartta on harmaasävyinen tekstuurikartta, jossa pinnan korkeutta voidaan säädellä tummempia ja vaaleampia harmaansävyjä käyttäen. Painaumakartta voidaan helposti luoda kuvankäsittelyohjelmilla, vaikkapa vain muuttamalla valokuva harmaansävyiseksi. Normaalikartta luodaan yleensä monimutkaisemman high poly -mallin pohjalta tulostamalla sen tekstuurikartat ulos ja liittämällä ne sitten yksinkertaisemman low poly -mallin pintaan kiinni. Tällä tapaa saadaan mallit näyttämään yksityiskohtaisemmilta ilman, että lopullisien 3D-mallien tarvitsisi olla geometrialtaan yk-

sityiskohtaisempia. Normaalikartan avulla saadaan aikaan yksityiskohtaisia ja näyttäviä 3D-malleja, joita voidaan huoletta käyttää reaaliaikaisissakin sovelluksissa. Samoin kuin normaalikartat myös korkeuskartat tulostetaan yleensä ulos high poly -malleista ja liitetään sitten kevyempään low poly -malliin. Korkeuskartalla saadaan aikaan illuusio mallin pinnan korkeusvaihteluista vielä yksityiskohtaisemmin kuin painaumakarttojen avulla.

Monissa ohjelmistoissa on laajoja materiaalikirjastoja, joista voidaan etsiä objektille sopiva valmis materiaali. Esimerkiksi 3ds Max -mallinnusohjelmistossa on paljon erilaisia valmiita materiaaleja, kuten Arch & Design -materiaalit, jotka on suunniteltu arkkitehtuuriseen käyttöön. Nämä materiaalit jäljittelevät mahdollisimman aidosti erilaisten materiaalien fyysisiä ominaisuuksia, joita ovat läpinäkyvyys, heijastuvuus ja valon taittuminen. Näitä materiaalien ominaisuuksia pystytään vaihtamaan helposti ja tällä tapaa luomaan myös omia materiaaleja niiden pohjalta. (Autodesk 2014a.) Kuvassa 4 esitellään erilaisia Arch & Design -materiaaleja.



KUVA 4. Arch & Design- materiaalit (Autodesk 2014a.)

### 2.4.2 Valaistus

3D-mallit pitää valaista, jotta ne näkyisivät lopullisessa esityksessä, kuten esimerkiksi niistä tehdyssä kuvassa. Mallinnusohjelmistoissa on myös tähän tarkoitukseen omat työkalunsa. Virtuaaliset valot ovat oikean maailman kaltaisia, mutta valoa tuottavilla lampuilla ei ole fyysistä olemusta. Tämän takia valojen sijoittelu on helpompaa kuin se on todellisuudessa. 3D-ohjelmien valot jäljittelevät ominaisuuksiltaan sellaisia todellisia valonlähteitä kuin kohdevalo, hehkulamppu tai auringonvalo. (Keränen ym. 2005, 179.)

Valaistus on visualisointikeino, jolla saadaan luotua 3D-esityksiin erilaisia tunnelmia. Esineiden luomien varjojen ja valaistuksen vaihtelevuuden avulla tuotetaan realistisempia kuvia. Valojen avulla saadaan myös luotua heijastumia, jotka tekevät lopputuloksesta uskottavamman. (Keränen ym. 2005, 179.)

### 2.4.3 Renderöinti

Renderöinnillä tarkoitetaan 3D-mallin tuottamisprosessin viimeisintä vaihetta, jossa renderöintimoottori suorittaa matemaattisia laskelmia, joilla saadaan 3D-mallista luotua 2D-kuva. Renderöinti siis niin sanotusti kääntää näkymän 2D-kuvaksi. (Slick 2015b.) Useimmat mallinnusohjelmistot sisältävät itsessään renderöintiominaisuuden, mutta renderöintiin on myös olemassa erillisiä ohjelmia.

Renderöintimoottori käyttää 3D-ympäristössä luotuja tekstuuri-, valaistus- ja paikkatietoasetuksia laskeakseen jokaisen pisteen lopullisen värin 2D-kuvassa. Renderöinti varjostaa 3D-ympäristön geometrian sen mukaan, miten näkymä on valaistu ja minkälaisia materiaaleja 3D-malleissa on käytetty. Myös 3D-näkymän ja renderöintimoottorin asetukset vaikuttavat lopputulokseen. (Slick 2015a.) On olemassa kahden tyyppistä renderöintiä, esi- ja reaaliaikainen renderöinti, joiden suurin eroavaisuus on nopeus, jolla kuvia lasketaan ja viimeistellään (Slick 2015b).

Reaaliaikaista renderöintiä on käytetty yleensä sovelluksissa, joissa 3D-tiedosta pitää tuottaa kuvia todella nopeasti, kuten videopeleissä ja muissa vuorovaikutteisissa sovelluksissa. Tällaisissa sovelluksissa ei voida tarkasti tietää, miten pelaaja tai käyttäjä on vuorovaikutuksessa ympäristöön, joten esirenderöintiä ei voida käyttää, vaan kuvat pitää renderöidä reaaliaikaisesti pelin edetessä. Reaaliaikainen renderöinti paranee huomattavasti, kun käytössä on näytönohjain, jossa on tarpeeksi tehokas grafiikkaprosessori eli GPU (Graphic Processing Unit) ja tietoa on koottu jo mahdollisimman paljon etukäteen. Reaaliaikaista renderöintiä voidaan myös nopeuttaa laskemalla valmiiksi peliympäristön valaistustiedot ja muuttamalla ne suoraan ympäristön tekstuuritiedostoiksi. (Slick 2015b.)

Esirenderöintiä on yleensä käytetty tilanteissa, joissa ei tarvita välitöntä vuorovaikutusta ja nopeutta. Näissä tilanteissa laskelmat tyypillisesti suoritetaan moniydinprosessoreilla eli CPU:lla (Central Processing Unit) eikä näytönohjaimen grafiikkaprosessorilla ole ihan yhtä suurta merkitystä kuin reaaliaikaisesti tehdyssä renderöinnissä. Esi- ja reaaliaikainen renderöinti kumpikin voidaan kuitenkin suorittaa kumpaa tahansa näytönohjaimen grafiikkaprosessoria tai tietokoneen moniydinprosessoria käyttämällä. Esirenderöinnillä saadaan aikaan monimutkaisempia ja fotorealistisempia kuvia, koska renderöintiin voidaan kuluttaa enemmän aikaa. Hahmojen, ympäristöjen, ja niihin kuuluvien tekstuurien ja valojen esirenderöinti mahdollistaa yleensä suurempia polygonilaskelmia ja korkeampaa resoluutiota tekstuuritiedostoissa. Esirenderöintiä käytetään yleensä animaatioiden ja erikoistehosteiden laskennassa, jotta niistä saataisiin mahdollisimman näyttäviä. (Slick 2015b.)

Ennen renderöintiä objektit pitää myös valaista ja teksturoida tarkoituksenmukaisesti sekä lisätä näkymään muut halutut erikoistehosteet, jotta saadaan tuotettua mahdollisimman näyttäviä ja realistisia kolmiulotteisia esityksiä, kuten animaatioita tai still-kuvia. Tarvittaessa renderöityjä 2D-kuvia voidaan myös jälkikäteen muokata kuvankäsittelyohjelmilla, jotta saadaan aikaiseksi haluttu lopputulos.

## 2.5 Käyttötarkoitukset

Kolmiulotteisten mallien suunnittelu on muuttunut radikaalisti viimeisten vuosikymmenten aikana. Kolmiulotteisuutta on hyödynnetty ammatti- ja yksityiskäytössä prototyyppien luomiseen, teollisuuteen, ilmatieteeseen, ajoneuvoihin, elokuvien erikoistehosteisiin ja kulutustavaroiden suunnitteluun. Tämän lisäksi on olemassa lukemattomia vähemmän julkisuutta saaneita sovelluksia. Yksi tällainen osa-alue on historialliset ja arkeologiset sovellukset; niissä kolmiulotteisuus on tuotu esille tavalla, jolla tutkijat ja yhtiöillä yleisö oppivat, taltioivat ja kertovat historiaa. (Fu 2013.)

Tieto- ja viestintäteknologia antaa arkeologiselle tutkimukselle aivan uudenlaisia mahdollisuuksia. 3D-mallin avulla voidaan rekonstruoida esineitä, patsaita, rakennuksia tai vaikka kokonaisia ympäristöjä, joita ei ole enää olemassa tai jotka ovat osaksi rapistuneet. Kun tarkoituksena on luoda uudelleen jotain, mitä ei ole enää olemassa, käytetään usein sen pohjana erilaisia tutkimuslöydöksiä. Tällaista tutkimustyötä joudutaan tekemään ennen kuin pystytään luomaan 3D-malli historiallisesta esineestä tai rakennuksesta. Tutkimustulosten hyödyntäminen antaa mahdollisuuden alkuperäisen esineen kaltaisen 3D-mallin luontiin. Mallinnuksen pohjana voidaan käyttää esimerkiksi arkeologin tekemiä luonnoksia, arkeologisia löydöksiä, historiallisia kertomuksia, olemassa olevia kuvia tai pohjakavaa alueesta.

Asiakkaat ja yleisö ovat nykyään tietoisia esitysten erilaisista teknisistä mahdollisuuksista. Tämä johtaa tietynlaisiin odotuksiin ja velvollisuuteen tehdä mahdollisimman todenmukaista historian visualisointia. Tiedetään myös, että mikään rekonstruktio ei perustu lähteisiin, joissa ei olisi aukkoja. Vaikka lähteissä olisi puutteita eivätkä löydökset olisi kovin kattavia, on silti niiden perusteella tehtyjen mallien oltava näyttäviä ja vakuuttavia. Tämä tarkoittaa, että puutteet on käsiteltävä vastuullisesti ja epävarmuustekijät esiteltävä esteettisesti erilaisten visualisointikeinojen avulla. (Grelert & Pfarr-Harfst 2013.)

## 2.6 Pienoismallit ja virtuaalimallit

Pienoismalleja on perinteisesti käytetty museoiden historiallisissa rekonstruktioissa, mutta ne vaativat paljon tarkkaan tehtyä käsityötä. Virtuaalimallit ovat uusi asia historiallisissa museoissa, mutta ne mahdollistavat sopivan ohjelmiston avulla käyttäjän pääsyn sisään virtuaaliseen maailmaansa, tähän verrattuna pienoismallit jäävät hieman yksitoikkoisiksi. Virtuaalimalli voi sisältää tietoa itsestään toisin kuin pienoismallit. Tämä sähköisen mallin ominaisuus on tärkein erottava tekijä näiden kahden välillä. Virtuaalimalli voi sisältää kohteesta olennaista tietoa. Näitä ovat esimerkiksi tieto siitä, mikä esine on, mihin sitä on käytetty ja milloin se on tehty. Se voi myös sisältää monimutkaisempaa sisältöä, kuten kuvia ja videoita kohteesta, tai se voi esimerkiksi viedä käyttäjänsä virtuaaliselle kiertoaajelle kohteen eri yksityiskohtiin. Virtuaalimallin hyviä puolia on myös sen dynaamisuus; sitä on helpompi muunnella kuin pienoismallia. Mallin jokaisen objektin kokoa, materiaalia ja muotoa voidaan muokata vaivattomasti. Pienoismalleissa tämä on hankalampaa ja vaatii yleensä jonkin aikaisemman osan muokkaamista. (Häyrinen 2001.)

3D-mallin hyödyntäminen restauroinnin suunnittelussa ja erilaisten vaihtoehtojen virtuaalisessa kokeilussa auttaa säilyttämään alkuperäisen esineen mahdollisimman pitkään sen hetkisessä muodossaan. Jossain tapauksissa on jopa kannattavampaa jättää alkuperäinen esine sen hetkiseen muotoonsa ja havainnollistaa sen alkuperäistä ulkoasua 3D-mallin avulla, joko virtuaalisesti tai 3D-tulosteena. Tällä tapaa nähdään myös, millaisista löydöksistä johtopäätökset on tehty.

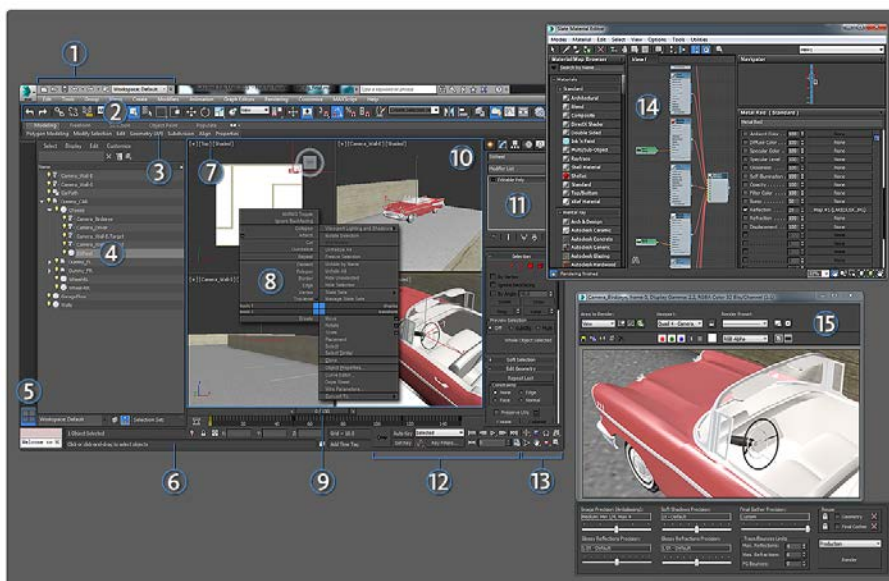
## 3 OHJELMISTOT

### 3.1 Mallinnusohjelmistot

Mallinnusohjelmistoista on olemassa ilmaisia ja maksullisia sovelluksia. Ilmaisissakin mallinnusohjelmistoissa on usein kattavat ominaisuudet ja työkalut. Tästä esimerkkinä on Blender, joka on todella monipuolinen ohjelmisto ja sen käyttäminen on täysin ilmaista. Ohjelmisto tulee valita käyttötarkoituksen mukaan. Sitä valittaessa on otettava huomioon, millaisia ominaisuuksia ohjelmalta vaaditaan ja millaiset ovat omat mallinnustaidot.

#### 3.1.1 3ds Max

3ds Max on Autodeskin maksullinen ohjelmisto 3D-mallinnukseen, animointiin ja renderöintiin. Ohjelma on yhteensopiva Windows-käyttöjärjestelmien kanssa. Se tarjoaa uudet työkalut, hyvän suorituskyvyn ja tehostetut työnkulut, jotka auttavat parantamaan monimutkaisten ja korkearesoluutioisien kohteiden tekemisen kokonaistuottavuutta. 3ds Max -ohjelmasta on saatavilla halvempia ja jopa ilmaisia versioita opetus- ja opiskelijakäyttöön, mutta näitä versioita ei saa käyttää kaupalliseen tarkoitukseen. 3ds Maxia käytetään usein arkkitehtuurisessa visualisoinnissa, koska se on yhteensopiva AutoCad-ohjelman kanssa. (Autodesk 2015.) Kuvassa 5 havainnollistetaan sitä, miltä 3ds Max -ohjelmiston käyttöliittymä näyttää.



KUVA 5. 3ds Maxin käyttöliittymä (Autodesk 2014b.)

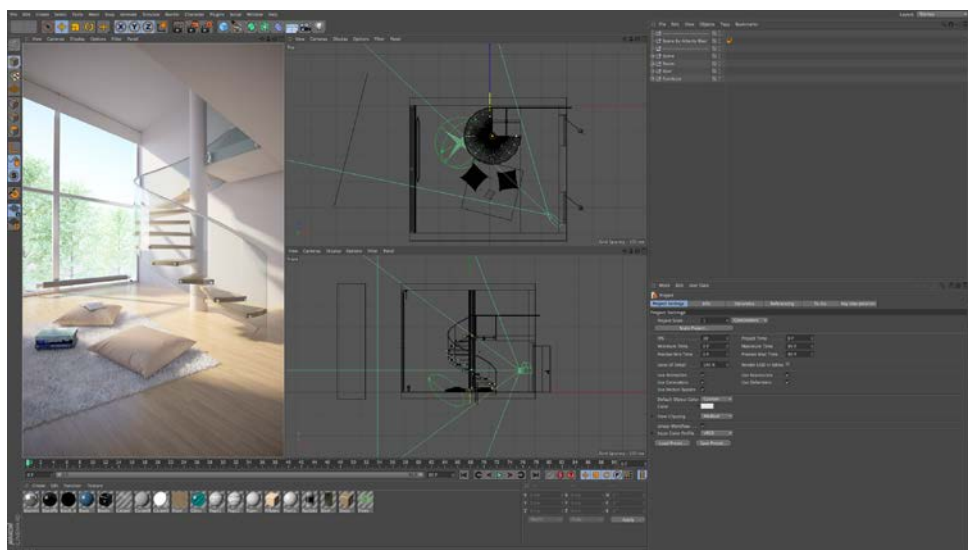
Ohjelman uusin versio on 3ds Max 2016, jossa on paljon uusia ominaisuuksia, joiden ansiosta työnkulku on vieläkin tehokkaampaa ja nopeampaa. 3D-mallinukseen ja -teksturointiin uusin versio tarjoaa parannettuja työkaluja OpenSubdiv-tukeen ja ShaderFX:ään. ShaderFX:n avulla voidaan luoda ja jakaa muille kehittyneempiä varjostusasetuksia vähemmällä vaivalla ja OpenSubdiv-tuen parannukset mahdollistavat monimutkaisempien topologioiden nopeamman luomisen. (Autodesk 2016d.)

### 3.1.2 Cinema 4D

Uusimpaan Cinema 4D-julkaisuun 17 on lisätty uusia työkaluja ja laajennettuja ja täysin uusittuja ominaisuuksia, jotta ideoita voitaisiin toteuttaa nopeammin ja vähemmällä vaivalla. Cinema 4D:ssä on integroituna Sketshup- ja Hourini-laajennukset, jotka tuovat oman lisänsä ohjelmistoon. (Maxon 2016e.)

Cinema 4D:stä on olemassa useita erilaisia versioita, josta jokainen on keskittynyt tiettyyn tuotannon osa-alueeseen. Cinema 4D Prime on ideaalinen valinta graafisille suunnittelijoille, jotka haluavat laajentaa osaamistaan 3D:hen. (Maxon 2016b.) Cinema 4D Visualize on vuorostaan tarkoitettu arkkitehtien, suunnittelijoiden ja valokuvaajien käyttöön näyttävien

tekstuuri-, valaistus- ja renderöintiominaisuuksiensa ansiosta (Maxon 2016d). Cinema 4D Broadcast on keskittynyt esineiden liikegrafiikkaan; sen ominaisuuksilla pystyy luomaan helposti ja nopeasti lähetysgrafiikkaa (Maxon 2016a). Cinema 4D:n laajin versio on Cinema 4D Studio, joka sisältää kaikkien edellä mainittujen versioiden ominaisuuksien lisäksi kehittyneempiä hahmotyökaluja, hiuksia ja muita fyysisiä ominaisuuksia (Maxon 2016c).



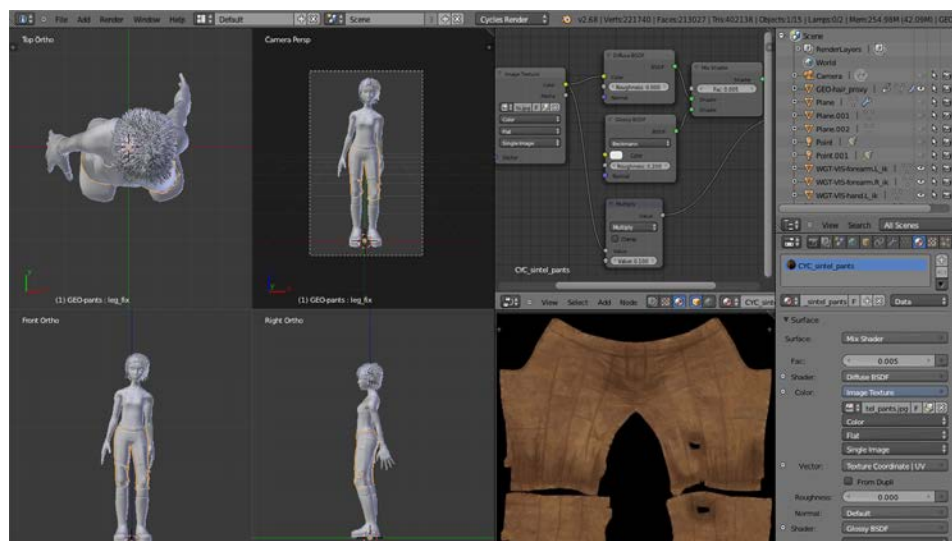
KUVA 6. Cinema 4D:n käyttöliittymä (Maxon 2015d.)

Ohjelmiston eri versioiden ansiosta voidaan helposti valita oikea versio kyseessä olevaan tarkoitukseen. Tällä tavalla myös säästetään kustannuksissa, kun ei tarvitse ostaa laajinta ja kalleinta versiota, jos sen kaikkia ominaisuuksia ei kumminkaan tarvitse, vaan voi tyytyä suppeampaan versioon.

### 3.1.3 Blender

Blender on tehokas mallinnusohjelma, joka on erityisesti optimoitu 3D-grafiikan tuottamiseen. Se on ilmainen ohjelmisto, joka sisältää laajan valikoiman erilaisia toimintoja ja työkaluja. Samoin kuin 3ds Max, myös Blender tarjoaa laajan kirjon mallinnus-, teksturointi-, valaistus-, animaatio- ja vi-

deojälkikäsitteilytoiminnallisuuksia samassa paketissa. Blender tarjoaa järjestelmäriippumattoman toimivuuden, laajennettavuuden ja tiukasti integroidun työskulun. (Blender Foundation 2015.)



KUVA 7. Blenderin käyttöliittymä (Blender Foundation 2012.)

### 3.2 Pelimoottorit

Pelimoottorit ovat pelikehitykseen suunniteltuja ohjelmistoja, joiden avulla pelikehittäjät voivat rakentaa pelejä erilaisille alustoille, kuten tietokoneille, pelikonsoleille ja mobiililaitteille. Tässä kappaleessa esitellään kaksi erilaista pelimoottoria, jotka ovat Unity 3D ja Unreal Engine 4.

#### 3.2.1 Unity 3D

Unity 3D on pelimoottori, joka on tarkoitettu erityisesti 3D-pelien luomiseen, mutta sillä voidaan luoda myös 2D-pelejä. Se tarjoaa kehitysympäristön vuorovaikutteisten käyttöliittymien luontiin. Unity 3D:n hyviä puolia on se, että peleistä pystyy rakentamaan vaivattomasti erilaisia versioita kaikenlaisille alustoille, kuten esimerkiksi älypuhelimille, tietokoneille ja pelikonsoleille. Unitystä on saatavilla ilmainen versio, joka soveltuu hienosti pelikehitykseen ja -julkaisuun, mutta jos pelikehittäjä kaipaa ohjelmistolta ammattimaisempia ominaisuuksia ja haluaa tienata enemmän pelillään, voi hankkia maksullisen version monipuolisimmilla ominaisuuksilla. Unityn

ilmaisellakin versiolla saa kehittää pelejä kaupalliseenkin käyttöön, niin kauan kuin yrityksen liikevaihto pysyy alle 100 000 dollarissa. Tämän rajan ylittyessä on hankittava käyttöönsä maksullinen ammattilaislisenssi. (Unity Technologies 2015b.)

KUVA 8. Unity 3D:n käyttöliittymä (Unity Technologies 2015a.)



### 3.2.2 Unreal Engine 4

Unreal Engine on Epic Gamesin pelimoottori, joka on tarkoitettu pelikehitykseen 2D-mobiilipeleistä menestyneisiin konsolipeleihin asti. Se antaa kaiken tarvittavan pelien kehitykseen, kasvattamiseen ja toimittamiseen sekä joukosta erottautumiseen. Uudet työkaluun liittyvät ominaisuudet ja kattavat työkalut antavat pelikehittäjille mahdollisuuden iteroida ideoitaan nopeasti ja saada välittömiä tuloksia. C++-lähdekoodi puolestaan vie tämän pelinkehityskokemuksen aivan uudelle tasolle. Unreal Engine 4 on

kaikille käyttäjille ilmainen, mutta mikäli sillä halutaan tuottaa pelejä kaupalliseen käyttöön, on niiden tuotosta maksettava 5 prosentin tekijänpalkkio Epic Gamesille. (Epic Games 2016.)



KUVA 9. Unreal Engine 4:n käyttöliittymä (Epic Games 2016.)

Unreal Engine -pelimoottorin uusin versio on Unreal Engine 4.10, jossa on paljon uusia käyttäjien toivomia ominaisuuksia, mutta tässä versiossa tärkeimpänä kehityskohteena on kuitenkin ollut vakauden lisääminen ja edellisessä versiossa esille tulleiden ongelmien korjaaminen. Unreal Engine on luotu antamaan upeita virtuaalitodellisuuskokemuksia, ja aina uuden version ilmestyessä on tätä pyritty parantamaan entisestään. Tässä versiossa uutena päivityksenä mobiilisovelluksia varten on lisää skaalautuvuusominaisuuksia, ja tämän versio tukee paremmin valon taittumista. Uuden version myötä Visual Studio 2015:ta voidaan käyttää myös Windows-käyttöjärjestelmillä, mikä on hyvä uutinen kaikille ohjelmoijille. Uusimman version sovellusalustat tukevat myös uusinta ohjelmistokehityssarjaa. (Paschall 2015.)

## 4 ESITYSTAVAT

### 4.1 Still-kuvat

Tämän opinnäytetyön yhteydessä still-kuvalla tarkoitetaan kaksiulotteisen median, kuten esimerkiksi tietokoneen näytön tai esitteen kautta välitettyä kolmiulotteista esitystapaa. Kuvilla voidaan esitellä 3D-malli eri suunnista käyttötarkoituksen mukaisesti. Esimerkiksi voidaan kuvata historiallisesta rakennuksesta tehdyn mallin sisätiloja tai rakennusta ylhäältä käsin ilmakuvana, riippuen millaisia asioita halutaan kuvalla tuoda esille. Monia kuvia yhdistämällä voidaan tehdä laajempia esityksiä, esimerkiksi historiallisista rakennuksista. Kuvasarjat voidaan esitellä esimerkiksi museossa valkokankaalta ja niihin voidaan lisätä sanallista informaatiota.

Still-kuvia käytetään paljon kolmiulotteisessa rakennusvisualisoinnissa, koska mallinnuksesta saadaan helposti otettua kuvia muutamasta kuvakulmasta ilman, että täytyy mallintaa koko rakennus. Tämän takia still-kuva on myös loistava tapa esitellä historiallisia rakennuksia. 3D-mallista tuotettujen still-kuvien hyviä puolia on se, että valmiita kuvia voidaan tuottaa suhteellisen nopeasti ja kustannustehokkaasti. Esimerkkinä kuva 10, jossa nähdään Digital Archaeology -yrityksen historiaa kuvaavasta 3D-mallista renderöimä still-kuva.



KUVA 10. 3D still-kuva (Digital Archaeology 2014.)

Yhtenä hyvänä esimerkkinä still-kuvista on Tohtori Matthew Nichollsin tekemä digitaalinen malli, joka esittää antiikin Roomaa (kuva 11). Malliin kuuluu tuhansia rakennuksia, mukaan lukien tärkeimpien monumenttien rekonstruktiot ja monta neliökilometriä tavallisia asuntoja, hautoja ja liikerrakennuksia. Rooman tärkeimpiä monumentteja ovat esimerkiksi Colosseum, Forum, Palatine-tunturi, kylpylät, temppeli, kaupungit ja keisarillinen foorumi. (University of Reading 2015.)



Kuva 11. Rooman virtuaalimalli (University of Reading 2015.)

Mallin tavoitteena on antaa kokonaiskuva antiikin aikaisesta Rooman kaupungista, jossa kaikki rakennukset ovat oikeilla paikoillaan ja antiikin aikaisessa kunnossaan. Tätä suurta yksityiskohtaista digitaalista mallia voidaan käyttää kuvien ja animaatioiden tuottamiseen muinaisesta kaupungista tai sen rakennuksista. Mallia voidaan kuvata mistä kulmasta tahansa ja mihin tahansa aikaan. Virtuaalinen Rooma -mallia on käytetty tutkimus- ja opetusvälineenä (University of Reading 2015.)

## 4.2 Animaatiot

Perinteinen animaatio on liikkuvaa kuvaa, joka on kuvattu yksittäisistä erillisistä still-kuvista kameralle. Tällaisia animaatioita ovat esimerkiksi piirros- ja nukkeanimaatiot. 3D-animaatiossa kuvat tuotetaan tietokoneen animaation tekoon tarkoitetuilla erikoisohjelmilla. Usein myös itse mallinnukseen tarkoitettujen ohjelmien sisältävät työkaluja animaation koostamiseen. (Keränen, Lamberg & Penttinen 2005, 168.)

3D-animaatio on yksinkertaisimmillaan kamera-ajoa, jossa virtuaalinen kamera kiertää mallia. Se voi myös sisältää liikkuvia kohteita, esimerkiksi mallinnetun kappaleen osia voidaan animoida erikseen ja tehdä tällä tapaa animaatiosta eloisampi. Animaatiossa voidaan esitellä 3D-mallia syvemmin kuin siitä renderöidyssä kuvassa. Kameran avulla voidaan kuvata 3D-mallia sisältä, esimerkiksi kun kyseessä on jokin historiallinen rakennus, voidaan rakennuksen sisätilat esitellä samassa animaatiossa ulkotilojen kanssa menemällä virtuaalisella kameralla mallin sisään.

Animaatiota voidaan tehostaa esimerkiksi sään ja valaistuksen avulla, jolloin saadaan luotua erilaisia käyttötarkoituksen mukaisia tunnelmia. Animaatioihin voidaan lisätä erilaisia luonnonilmiöitä, kuten sumua, sadetta, tuulta tai vaikkapa hirmumyrsky, mutta niiden todenmukainen simulointi ei ole helppoa. Esimerkiksi veden ominaisuuksia ja liikettä on hyvin vaikea jäljitellä tietokoneella. (Keränen ym. 2005, 181.)

Animaatio on tehokas ja vaikuttava tapa esitellä 3D-malleja; niillä herättään helposti katsojan huomio. Animaatioihin voidaan lisätä verbaalista tietoa, esimerkiksi infoa historiallisesta esineestä puheen tai tekstin muodossa. Animaatiot ovat oiva tapa elävöittää historiaa, sillä niillä saadaan aikaan helposti eloa ja kiehtovuutta lisääviä ominaisuuksia esineeseen tai ympäristöön.



KUVA 12. 3D-rekonstruoitu Olavinlinna vuonna 1730 (Museovirasto 2015.)

Olavinlinnasta tehty 3D-rekonstruktio (kuva 12) kuvaa linnan kolmea eri rakennusvaihetta, jotka ovat keskiaika, vuosi 1730 ja vuosi 1799. Muutaman minuutin pituinen animaatio esittelee, kuinka linnan ulkomuoto on muuttunut aseistuksen kehityksen ja sotaan valmistautumisen johdosta. Mallinnus havainnollistaa myös sitä, miten sekä ruotsalaiset että venäläiset jättivät jälkensä Olavinlinnaan. Vanhoja ruotsalaisia ja venäläisiä piirustuksia samoin kuin sinikopioita, tutkimuksia ja vanhoja kuvia on käytetty mallin lähteinä. On hyvä ottaa huomioon, että jokaisessa mallinnusvaiheessa mallin ulkoasuun on vaikuttanut myös tekijän omat tulkinnat siitä, millaiselta linna on mahtanut näyttää. Olavinlinnan keskiajan mallissa on nähtävissä eniten mallintajien omaa tulkintaa, sillä lähdeaineistoa tuolta ajalta ei ole paljoa. Keskiaikaisen linnan osia ja piirteitä on kadonnut, eikä niistä ole tarkkaa tietoa, joten niitä on ollut myös mahdotonta rekonstruoida luotettavasti. (Museovirasto 2015.) Olavinlinnan 3D-rekonstruktion tekijät ovat myös aikaisemmin tehneet samanlaisia rekonstruktioprojekteja, esimerkiksi Suomenlinnasta ja Kaakkois-Suomen pienlinnoituksista (Torkkel 2015).

### 4.3 Virtuaalimallit

Virtuaalimallit ovat interaktiivisia virtuaalisia ympäristöjä, joissa käyttäjä on vuorovaikutuksessa mallin kanssa. Virtuaalimallin sisällä käyttäjä voi itse kuvitteellisesti liikkua ja pyöritellä kohdetta tietokoneen näytöllä. Virtuaalimalleissa kuvitteellinen liikkuminen ja mallin pyörittely tapahtuu esimerkiksi hiirellä, näppäimistöllä tai kosketusnäytöllä ohjaten. Virtuaalimallit eroavat animaatioista sillä tavalla, että niissä loppukäyttäjä voi vaikuttaa liikkeeseen. (Ramboll 2015.)

Virtuaalimallit, kuten myös virtuaaliodellisuussovellukset, tarvitsevat käyttöliittymän. Tässä tapauksessa käyttöliittymällä tarkoitetaan sitä näkymää, jonka loppukäyttäjä näkee ja jonka avulla hän pystyy tarkastelemaan mallia. Käyttöliittymään voidaan lisätä erilaisia graafisia elementtejä, kuten esimerkiksi kuvakkeita ja valintanappeja.

Yksi hyvä esimerkki virtuaalimalleista historian visualisoinnissa on pano-  
raamakuvan omainen 360°:n kiertoajelu. Tällainen esitys luodaan laittamalla virtuaalinen kamera keskelle luotua 3D-ympäristöä. Kameralle sallitaan 360 asteen pyörimisliike. Käyttäjä pystyy itse vaikuttamaan kameran liikkeeseen. Tietenkin tällainen esitys voidaan myös luoda niin, että kamera tekee tietynlaisen liikkeen ilman käyttäjän vuorovaikutusta, mutta tällöin on kyseessä animaatio. Lisäämällä käyttäjän vuorovaikutusmahdollisuuksia saadaan malleista kiehtovampia ja mukaansatempaavampia.



KUVA 13. Rooman Colosseumin virtuaalimalli (Digital history studios 2013.)

Esimerkkinä tällaisesta virtuaalimallista on Rooman Colosseumista tehty virtuaalinen kiertoajelu (kuva 13), jossa käyttäjä voi virtuaalisesti kiertää mallia 360 astetta sen eri näkymissä. Malli esittelee yhden Colosseumin merkittävimmistä sisäänkäynneistä, näkymän sen ylemmästä parvesta ja katolta sekä gladiaattorien ja laivastojen taisteluita. (Digital history studios 2013.)

Toisena hyvänä esimerkkinä on Hollolan pitäjän Toivola-kylästä tehty virtuaalimalli (kuva 14), joka on taidonnäyte Suomessa toteutetusta historiallisesta 3D-rekonstruktiosta. Tämä virtuaalimalli on tehty osana Jyväskylän yliopiston historian ja etnologian laitoksen Ihminen, aika ja maisema -projektia. Media Current -yritys on vastannut tämän mallin teknisestä toteutuksesta. Mallilla pyritään havainnollistamaan sitä, miltä Toivolan kylä on mahdollisesti näyttänyt vuonna 1705. Tässä virtuaalikylässä voi liikkua kahdella eri tapaa, joko 3D-näkymässä olevien nuolinäppäinten avulla tai valitsemalla sijainti karttanäkymästä. Mallissa on myös erillinen infonäppäin, josta saadaan näkyville lisätietoa kohteista. (Jyväskylän yliopisto 2010b.)



KUVA 14. Toivolan virtuaalikylä (Jyväskylän yliopisto 2010a.)

#### 4.4 Virtuaalitodellisuus

Teknologia, jolla virtuaalisia ympäristöjä luodaan, on kehittynyt nopeasti viime vuosikymmenten aikana. Tämän takana on ollut pääasiassa peliteollisuus, johon on haluttu saada enemmän realistisuutta, lisää luonnollista ja intuitiivista vuorovaikutteisuutta, ja parempaa käytettävyyttä. Virtuaalinen maailma pyrkii rikastuttamaan näkyaistimme saamaa tietoa luomalla samanlaisen visuaalisen upottautumisen tunteen kuin oikeassa maailmassa. (Stanney, Hale, & Zyda 2015.)

Virtuaalitodellisuus on tietokoneen työkalujen ja ohjelmistojen avulla luotu keinotekoinen ympäristö, joka esitetään käyttäjälle siten, että se näyttää ja tuntuu todelliselta ympäristöltä. Virtuaalitodellisuustekniikka mahdollistaa käyttäjän vuorovaikutuksen simuloituun ympäristöön. Virtuaalitodellisuusjärjestelmän tarkoitus on luoda käyttäjälleen illuusio uppoutumisesta virtuaaliseen maailmaan. Tähän tarkoitukseen on suunniteltu erilaisia aistinhuijauslaitteita. Esityksien ja tuntoaistiin perustuvien laitteiden korkeiden kustannusten takia suurimmassa osassa virtuaalitodellisuussovelluksissa ei käytetä kalliita teknisiä laitteistoja vaan yksinkertaisia stereonäköratkaisuja tai ei käytetä apulaitteita ollenkaan. Jossain tapauksissa on hyvä sekoittaa

todellinen ympäristö tietokoneella luodun ympäristön kanssa. Tällä menetelmällä voidaan jopa saada aikaan parempi käsitys ympäristöstä. (Foit 2007.)



Kuva 15. David Attenboroughin First Life -dokumentti. (Whitfield 2015.)

Hyvänä esimerkkinä virtuaalitodellisuuden käytöstä historiallisten löydösten esittelyssä on Lontoon Natural History Museumissa nähtävillä oleva tuotantoyhtiö Atlantic productionsin aikaansaama First Life -virtuaalitodellisuusdokumentti (kuva 15), jonka avulla museovierailijat voivat tutkia antiikin valtameriä ja olla vuorovaikutuksessa yli 500 miljoonaa vuotta sitten olemassa olleiden merenelävien kanssa. Tähän David Attenboroughin selostamaan 15 minuutin pituiseen dokumenttiin on tuotu virtuaalitodellisuutta Samsung Gear VR -virtuaalilasien avulla. (The Trustees of the Natural History Museum 2016.)

#### 4.5 3D-tulostus

Nykytekniikalla voidaan myös tulostaa 3D-mallista fyysinen kappale. Kuvassa 16 on historiallisista esineistä skannattuja 3D-malleja, jotka voidaan tulostaa 3D-tulostimella fyysisiksi esineiksi. 3D-tulostimet on keksitty jo 1980-luvulla, mutta niiden käyttö on yleistynyt vasta viime vuosien aikana. Tämä johtuu siitä, että niiden kustannukset ovat vasta lähiaikoina tulleet kohtuullisemmiksi ja kehitys on ollut lähivuosina huimaa. (Smith 2014.)



KUVA 16. 3D-mallit (ThinkScan solutions Ltd 2015.)

3D-tulostuksen ansiosta alkuperäisestä tutkimuslöydöksestä voidaan tehdä useita kopioita, joita voidaan laittaa museoon esille asiakkaiden kosketeltavaksi. Kopioiden avulla mahdollistetaan asiakkaalle aistikkaampi kokemus historian aarteista, mutta pystytään myös samalla pitämään alkuperäinen esine turvassa vitriinin kätköissä. Itse fyysisten kopioiden kustannuksetkaan eivät ole huimat, vaan suurin osa 3D-mallien kustannuksista kertyy virtuaalisen mallin luonnista ja muokkaamisesta, joten kopioiden kuluessa ja hajotessa voidaan teettää halvalla uusia niiden tilalle. Alkuperäisen esineen yhteydessä voidaan esitellä esineestä teetettyjä kopioita niiden alkuperäisessä tarkoituksessa. Esimerkiksi ruukkuja, joissa on viljoja ja mausteita. Tuoksun ja tekstuurin avulla saadaan aikaan tutumpi ja to-

denmukaisempi kuva esineestä ja siitä mihin sitä on käytetty. Isoista esineistä tai vaikkapa fossiileista voidaan tulostaa käteen sopivassa mittakaavassa olevia kopioita, joita kävijät voivat sitten kosketella ja käsitellä. Jonkun isomman kokonaisuuden osia voidaan myös tulostaa erikseen ja laittaa vaikka esille museokävijöiden koottavaksi. Tällä tavalla saadaan rikastettua museokokemusta, kun kävijät pääsevät itse kokeilemaan arkeologien kiehtovaa tutkimustyötä. Museovierailijoiden tehtävänä voisi vaikka olla jonkin isomman historiallisen esineen kokoaminen, kuten esimerkiksi fossiilin tai vanhan aitan. (Versoteq 3D Solutions Oy 2015.)

3D-teknologia mahdollistaa myös museonäyttelyiden laajentamisen, esimerkiksi virtuaalisin keinoin. Osa esineistä voidaan esitellä virtuaalisesti videoprojektoreiden tai tablettien avulla, jolloin niille ei tarvitse järjestää erikseen yhtä paljon tilaa, kuin silloin jos ne tuotaisiin fyysisinä kappaleina näyttille. Virtuaalisella museolla voidaan myös laajentaa asiakaskuntaa, tuomalla se osaksi esimerkiksi museon verkkosivuja. (Versoteq 3D Solutions Oy 2015.)

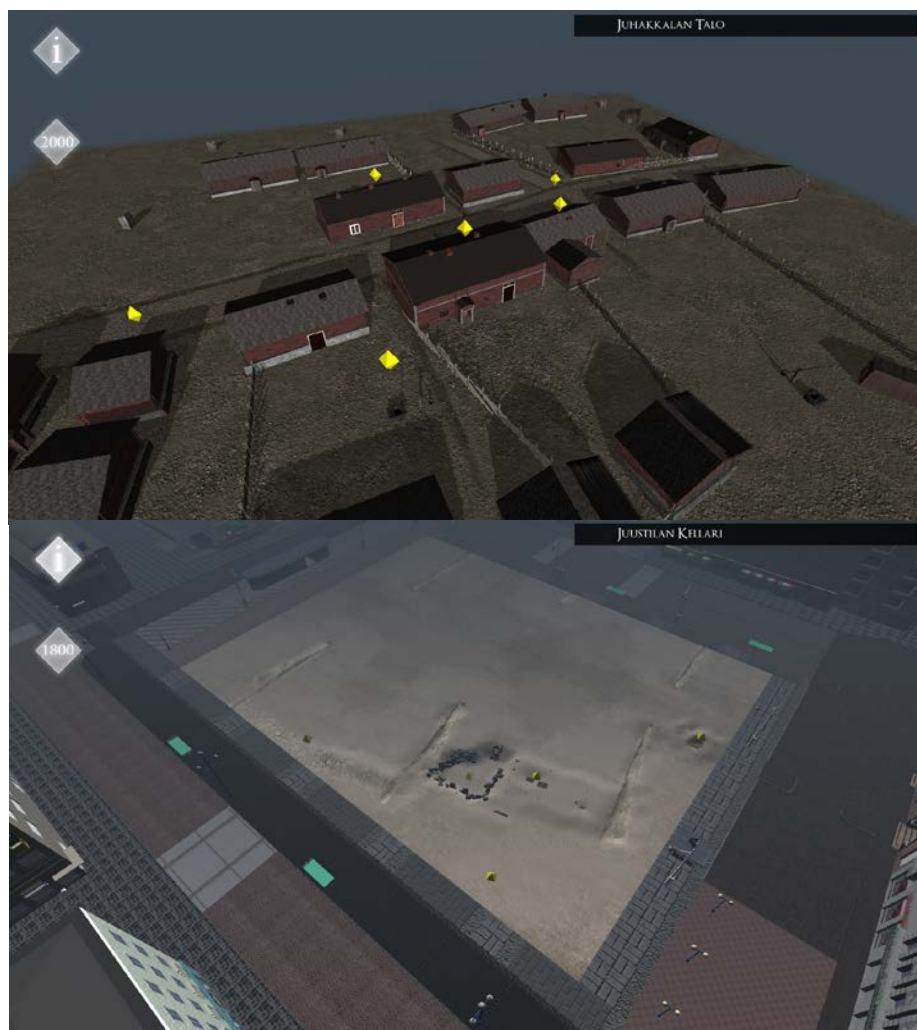
3D-tulostuksen avulla voidaan luoda millitarkasti jokaiselle museoesineelle sopiva jalusta, tuki tai teline ja käyttää siihen useita eri materiaaleja. 3D-teknologiaa voidaan myös käyttää tulostuksen lisäksi yhdessä perinteisempien leikkaustekniikoiden kanssa. 3D-skannauksella saadaan objektin tarkat mitat, minkä jälkeen voidaan suunnitella jalusta näihin mittoihin sopivaksi. Suunnittelun jälkeen jalusta voidaan muuttaa leikkurin, 3D-tulostimen tai kaiverruskoneen ymmärtämään muotoon. 3D-malleja voidaan käyttää myös osana digitaalista kokoelmatietoa ja tällä tavalla mahdollistaa mallin lainaaminen tutkimus- ja näyttelykäyttöön. Virtuaalisen mallin avulla voidaan laajentaa eri kokoelmien saatavuutta, kun näitä kopioita voidaan tulostaa erilaisiin tarkoituksiin. (Versoteq 3D Solutions Oy 2015.)

## 5 CASE: VIRTUAALINEN LAHDEN KYLÄ

### 5.1 Lähtötilanne ja projektin suunnittelu

Projektityönä oli suunnitella ja toteuttaa Lahden museoille virtuaalinen 3D-malli hyödyntäen Lahden torikaivauksessa tehtyjä löydöksiä ja niiden perusteella tehtyjä analyyseja. Lahden Museot halusivat saada projektiajan puitteissa virtuaalimallin, jota ne voisivat käyttää tulevassa museonäyttelyssään. Ennen varsinaisen mallinnusprojektin alkua saatiin asiakkaalta paljon lähdeaineistoa, kuten kuvia kaivausalueesta ja arkeologien tekemiä tulkintoja kaivauslöydöksistä. Yhdessä projektiryhmän ja Lahden museoiden henkilökunnan kanssa alettiin miettiä, millaisia asioita virtuaalimallissa haluttaisiin tuoda kaivauksista ja niiden perusteella saaduista tiedoista esille.

Yhdessä päätettiin, että tehdään käyttöliittymä, jonka avulla museokävijät voivat tarkastella Lahden torikaivaus- ja vanhaa Lahden kylä -näköalaa. Toteutus päätettiin tehdä kosketusnäyttöiselle tietokoneelle, jotta museovieraat voisivat olla mahdollisimman paljon vuorovaikutuksessa mallin kanssa ja sen avulla saada vaikuttavamman museokokemuksen. Virtuaalimalliin päätettiin myös lisätä tietoa ja kuvamateriaalia kaivauslöydöksistä. Kuvien avulla saataisiin tarkasti esiteltäviä kaivaustilanne ja sitä, minkälaisista löydöksistä johtopäätökset 3D-malliin on tehty. Sanallisen informaation tarkoituksena on tuoda arkeologien löydöksistä tekemät johtopäätökset ja dokumentaatio museovierailijoiden tietoon ja tukemaan virtuaalimallia.



KUVA. 17. Lahden kylä- ja kaivausnäkyvä

Lahden kylä- virtuaalimallissa on kaksi erilaista näkymää, jonka välillä käyttäjä voi vaihdella. Kuvassa 17 on nähtävissä nämä kaksi virtuaalimallin näkymää. Torikaivausnäkyvällä haluttiin havainnollistaa arkeologista tutkimusta, esitellä, millaisia kaivauksia tehtiin ja minkä lähtökohtien perusteella Lahden kylä -näkyvä on rekonstruoitu. Torikaivaus-näkyvän mallinnuksessa ei ollut tarkoitus keskittyä kaikkiin pieniin yksityiskohtiin, vaan sillä haluttiin tuoda esille kokonaiskuva kaivausalueesta ja käyttää sitä vertailukohteena Lahden kylä -mallille. Tärkeimpiä yksityiskohtia alueesta tuotiin esille kaivaustyömaalta otetuilla kuvilla, ja tämän takia niiden pikkutarkkaa mallintamista ei pidetty tärkeänä, vaan haluttiin keskittää enemmän resursseja Lahden kylän mallintamiseen.

## 5.2 3D-mallin luonti

Tässä kappaleessa esitellään sitä, minkälaisia asioita 3D-mallien luonnissa on syytä ottaa huomioon ja sitä, millaisia erilaisia 3D-mallin luontiin liittyviä työvaiheita projektissa tehtiin.

### 5.2.1 Tärkeitä mallinnuksessa huomioitavia asiota

3D-mallin suunnittelu on yksi tärkeimmistä prosesseista, siksi on mietittävä huolellisesti, mihin tarkoitukseen malli tehdään ja mitä siltä vaaditaan. Ennen toteutusta on tärkeää tehdä perusteellinen suunnitelma työstä ja työnkulusta, jotta pysyttäisiin mahdollisimman hyvin tavoitteissa. Suunnitelmaan olisi hyvä listata käyttötarkoitus, vaaditut ominaisuudet ja se, mitä mallilla halutaan viestiä ja miksi. Välitallennusten säännöllinen tekeminen mallinnusprosessin aikana on myös hyvin tärkeää, jotta työnkulku olisi sujuvaa ja tuottoisaa. Jos ongelmia esiintyy tai tehdyt muutokset ovat tarpeettomia, välitallennusten avulla pääsee helposti välivaiheita taaksepäin.

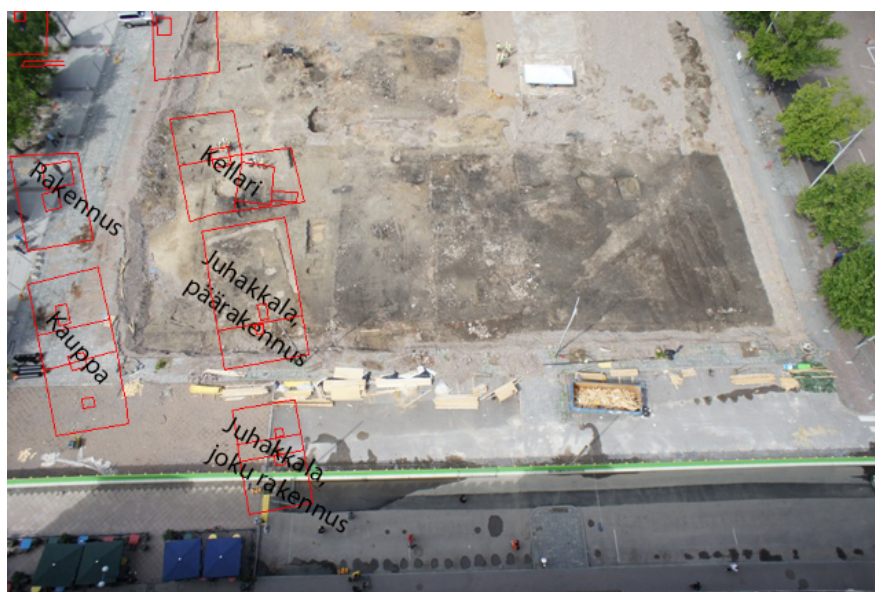
On hyvä hahmottaa tarkasti kaikki mallinnettavat kohteet etukäteen, jotta mallista saadaan mahdollisimman todenmukainen. Rakennusten mallinnuksessa käytetään usein apuna pohjapiirroksia ja ilmakuvia, mutta niiden lisäksi on hyvä käyttää hyödyksi myös muuta kuvamateriaalia, jos sellaista löytyy. Isompia rakennuskokonaisuuksia mallintaessa kannattaa kiinnittää huomiota siihen, millaisia samanlaisia osia rakennuksissa on, ja mallintaa ne niin, että niitä voidaan hyödyntää monessa eri rakennuksessa. Ongelmia voi syntyä objektien siirtämisessä eri ohjelmien välillä, joten on hyvä ottaa huomioon se, millaiseen muotoon objektit on tallennettava ja millaisia asetuksia ja ominaisuuksia niille on annettava. Yhdeksi ongelmaksi voi syntyä käyttöliittymän raskaus, joten jo 3D-mallien suunnittelussa on tärkeää huomioida tämä seikka. Mallinnuksessa on pyrittävä tekemään 3D-malleja, joissa polygonien määrä ei nouse liian suureksi, jotta käyttöliittymää pystyttäisiin pyörittämään monenlaisilla laitteilla.

Mallinnusohjelmiston valintaan on syytä myös kiinnittää huomiota; on valittava ohjelmisto, joka palvelee parhaiten käyttötarkoitusta. Saatavuus, kustannus ja omat mallinnustaidot ovat myös hyviä valintakriteerejä ohjelmistoa valittaessa. Mallintaessa on tärkeää myös huomioida mallinnusohjelmiston mahdollisuudet ja puutteet. Ohjelmiston kaikkia hyödyllisiä työkaluja tulee käyttää tarpeen mukaan, jotta työskentelystä saataisiin mahdollisimman sujuvaa ja helppoa.

Jos mallinnusta tehdään asiakastyönä, on tärkeää ottaa asiakkaan toiveet huomioon ja näyttää asiakkaalle aikaansaannoksia sopivin väliajoin, jotta pysytään tavoitteissa. On syytä myös pysyä aikataulussa ja pitää kiinni sovitusta määräajosta.

### 5.2.2 Mallin suunnittelu

Mallinnusprosessin alussa suunniteltiin mallia yhdessä Lahden historiallisen museon henkilökunnan kanssa ja tämän perusteella suunniteltiin tarkemmin sitä, millaisiin yksityiskohtiin keskitytään ja millainen kokonaisuus saataisiin kasaan määräajassa. Asiakkaalta saatiin paljon erilaista materiaalia Lahden torikaivausalueelta, esimerkiksi ilmakuvia, karttoja, yksikkötietoja mittakaavoineen ja arkeologien tekemiä tulkintoja.



KUVA18. Rakennusten sijainnit (Lahden kaupunginmuseo 2014)

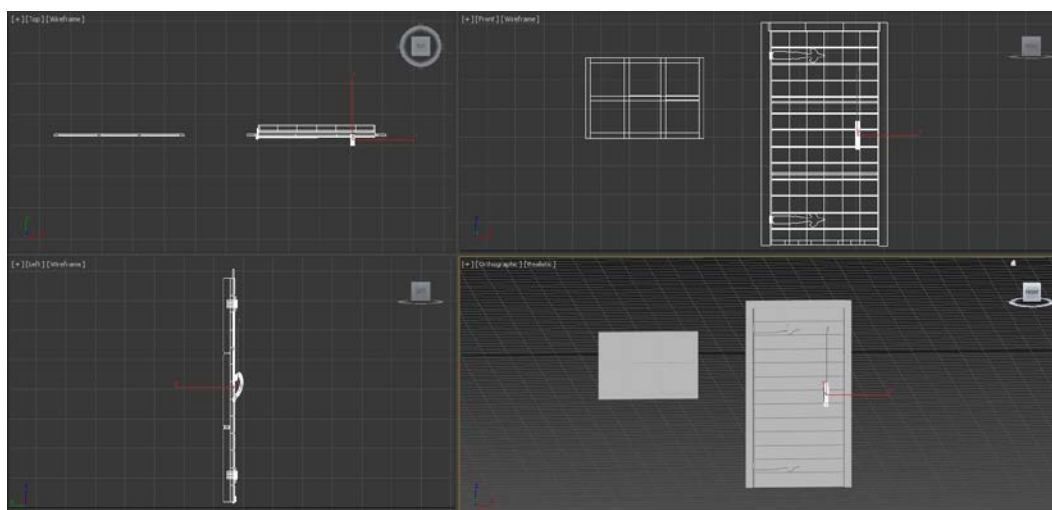
Projektin tavoitteena oli mallintaa mahdollisimman näyttävä ja toimiva kokonaisuus Lahden torikaivauksista ja siitä, miltä Lahden kylä on mahdollisesti näyttänyt ennen 1877 tapahtunutta tulipaloa, jossa kylä tuhoutui kokonaan. Päätettiin, että kun koko Lahden kylää ei pystytä mallintamaan tämän projektin määräaikojen puitteissa, keskitytään vain pienempään osaan sitä. Lahden kylän mallinnettaviin rakennuksiin valittiin eräs kaupparakennus, sitä vastapäätä sijainnut Juhakkalan tontin päärakennus, Viipurin tie, toinen asuinrakennus ja Juustilan kellari. Näitä kohteita lähdettiin suunnittelemaan saadun aineiston perusteella.

### 5.2.3 Mallinnus

Mallien suunnittelun jälkeen aloitettiin 3D-objektien luonti. Mallinnusohjelmaksi valittiin 3ds Max sen saatavuuden, visualisointiominaisuuksien ja mallintajien taitojen perusteella. Projektissa objektien mallinnuksesta ja teksturoinnista vastasivat Riikka Järveläinen, Jere Piiranen, Jaakko Rinne ja Tuukka Roitto. Mallinnettavista kohteista tehtiin työnjako, jotta saatiin mallit tuotettua mahdollisimman tehokkaasti ja nopeasti.

Kaivausalueen mallinnettavat kohteet jaettiin arkeologisten kaivausalueiden perusteella. Mallinnuksessa erotettiin yksityiskohtaiset alueet, jotka oli kaivettu torikaivauksissa perusteellisesti esille. Kaivausalueen maasto mallinnettiin erikseen ja siihen lisättiin lopuksi erilliset yksityiskohtaiset alueet. Ongelmia tässä menettelytavassa kuitenkin syntyi, sillä mallien yhdistely jälkikäteen ei ollutkaan niin vaivatonta kuin oli ajateltu sen olevan. Ongelmana oli myös eri mallinnusalueiden tarkkuus- ja mittakaavaerot, sillä vaikka mallit oli tehty pitkälti arkeologien antamien yksikkötietojen ja mittakaavojen mukaan, ne eivät vastanneet toisiaan. Tarkkuus- ja mittakaavaerot olisi pitänyt ottaa huomioon ennen kuin jokainen projektilainen lähti itsekseen työstämään omaa mallinnustaan. Materiaaleja olisi pitänyt myös

mieltä jo projektina alussa yhteisvoimin, jotta olisi välttytty materiaalien ja objektien muutoksilta projektin loppupuolella.



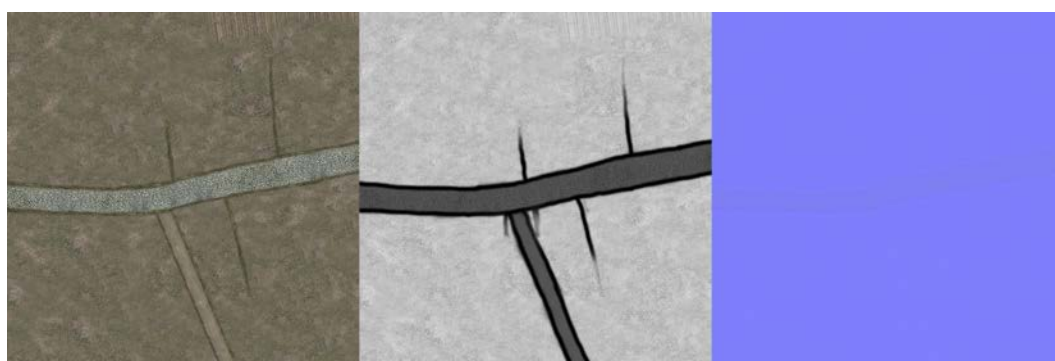
KUVA 19. Objektien mallinnus

Lahden kylä -mallin objektit jaettiin rakennuksiin, maastoon, rakennusten yksityiskohtiin ja maastossa sijaitseviin erillisiin objekteihin. Rakennukset mallinnettiin niin, että samoja mallinnettuja osia voitiin käyttää moneen eri rakennukseen. Rakennusten yksityiskohdat, kuten ovet, ikkunat ja savupiiput, mallinnettiin erikseen (kuva 19). Rakennusten ja niiden yksityiskohtien mallinnuksessa olisi voitu myös kiinnittää enemmän huomiota polygonien määrään. High poly -malleista olisi lopuksi voitu tulostaa ulos kaikki materiaalikartat ja nämä olisi voitu liittää lopuksi low poly -objekteihin, jotta 3D-malleista ei olisi tullut niin raskaita, mutta silti ne olisivat olleet näyttäviä ja yksityiskohtaisia.

#### 5.2.4 Materiaalit

Tämän projektin 3D-malleissa käytettiin 3ds Maxin standard-materiaaleja, koska niiden avulla saatiin melko yksinkertaisesti luotua materiaalit kaikille objekteille. Tiedettiin myös, että Unity 3D -pelimoottori ei tue muita kuin standard-materiaaleja, joten niiden käyttöön päätyminen ei ollut kovin vaikea ja monimutkainen ratkaisu. Standard-materiaaleilla saatiin myös helposti objekteille aikaan erilaisia ominaisuuksia, kuten esimerkiksi valon

heijastuvuutta. Näihin standard-materiaaleihin kiinnitettiin tekstuurikarttoja, joiden avulla saatiin luotua yksityiskohtaisempaa ulkoasua objekteille muuttamatta objektien geometriaa monimutkaisemmaksi. Esimerkiksi maaston teksturoinnin apuna käytettiin diffuusio-, korkeus- ja normaalikartta. Teksturointiin käytettiin paljon ilmaisia tekstuuripankkeja, joista saatiin ladattua käyttöön realistisia valokuvia. Ladattuja valokuvia käytettiin sellaisenaan 3D-mallien värien luomiseen diffuusioikartan avulla ja kuvia käytettiin myös hyödyksi, kun luotiin muita tekstuurikarttoja kuvankäsittely-ohjelmilla.



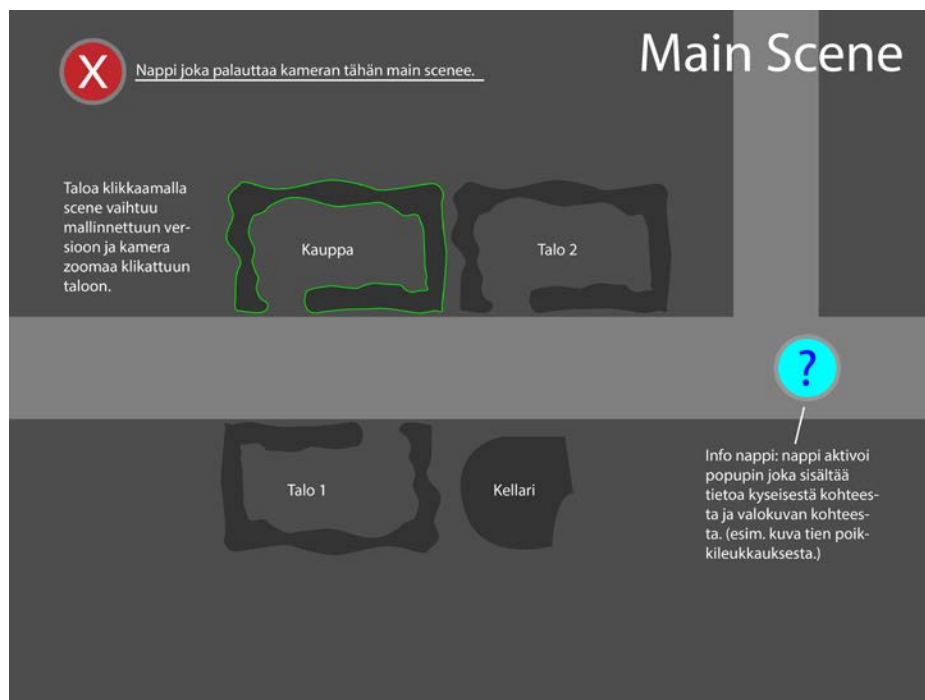
KUVA 20. Maaston materiaalikartat, oikealta lähtien; diffuusio-, korkeus- ja normaalikartta.

### 5.3 Virtuaalimallin luonti

Tässä kappaleessa esitellään sitä, millaisia työvaiheita virtuaalimallin luontiin tarvittiin. Käyttöliittymän suunnittelu ja -toteutus olivat tärkeitä työvaiheita virtuaalimallin luonnissa. Kappaleessa käydään myös läpi, kuinka 3D-mallit on siirretty 3ds Maxista Unity 3D-pelimoottoriin, miten virtuaalimallin valaistus on luotu ja mitkä virtuaalimallin toiminnallisuudet ovat tehty hyödyntäen ohjelmointitaitoja.

### 5.3.1 Käyttöliittymän suunnittelu

Aluksi suunniteltiin, millaista käyttöliittymää aletaan virtuaalimallille teke-  
mään. Myös käyttöliittymä suunniteltiin yhdessä Lahden museon henkilö-  
kunnan kanssa. Mietittiin, millaisia ominaisuuksia museonäyttelyyn tarkoi-  
tettu käyttöliittymä vaatisi ja miten se palvelisi parhaiten kaikkia sen käyttä-  
jiä ikäluokasta riippumatta. Suunniteltiin, että käyttöliittymän yläreunaan tu-  
lisi valintanappi, jolla käyttäjä voi vaihtaa näkymää kaivausalueen ja kylän  
välillä. Käyttöliittymä pyörisi mallinnuskokonaisuuksien ympäri hitaasti, ja  
kun jotain tiettyä kohdetta klikkaisi, virtuaalinen kamera zoomaisi kohtee-  
seen ja lähtisi kiertämään sitä. Suunniteltiin, että käyttöliittymään tehdään  
myös infonappi, josta saa esille lisätietoa sillä hetkellä valitusta kohteesta.



KUVA 21. Käyttöliittymän suunnittelua

### 5.3.2 3D-mallien vienti Unityyn

Kun 3D-mallit saatiin 3ds Maxissa valmiiksi, ne siirrettiin Unity 3D -peli-  
moottoriin. Mallit oli tallennettava sopivaan tiedostomuotoon ennen niiden  
vientiä sinne. Nykyään yleisimpänä 3D-mallien tiedonsiirtomuotona käytet-

tään Autodeskin kehittämää fbx-tiedostomuotoa sen kattavien ominaisuuksien ansiosta. Tämä tiedostomuoto on laajasti tuettu, esimerkiksi monet mallinnusohjelmat ja pelimoottorit tukevat sitä. Tässä projektissa 3D-mallit tallennettiin 3Ds Maxissa fbx-tiedostomuotoon, koska tiedettiin, että myös Unity 3D -pelimoottori tukee tätä tiedostomuotoa.

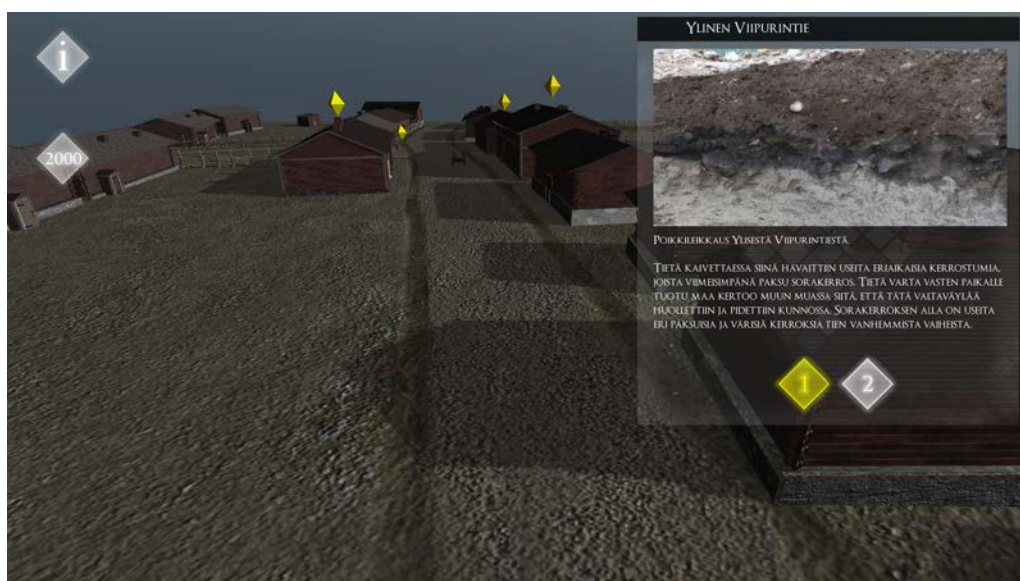
### 5.3.3 Valaistus

Valaistusta ei luotu 3ds Maxissa, koska tiedettiin, että valojen siirtämisessä ohjelmasta toiseen voisi syntyä helposti yhteensopivuusongelmia ja muutenkin tiedettiin, että Unity 3D:ssä on tähän tarkoitukseen sopiva valaistusominaisuus. Valaistus toteutettiin Unity 3D:ssä directional light -työkalulla, jolla voitiin jäljitellä auringon valoa. Directional light -työkalulla saatiin kaikki käyttöliittymän kohteet valaistua samalla kertaa. Tämä valaistus mahdollisti sen, että valo saatiin valaisemaan kaikki kohteet samasta suunnasta ja valon määrä ei vähentynyt kohteen etäisyydestä valonlähteen riippuen. Valaistukseen oltiin tyytyväisiä, ja se toimi hyvin tämän tyylisessä käyttöliittymässä. Kuitenkaan tällä valaistuksella ei saatu toivotun laista varjostusta aikaan, vaan Lahden kylä -näkömänn rakennusten toiset puolet jäivät liian tummiksi. Varjojen ominaisuuksiin ja käyttäytymiseen olisi ollut hyvä tutustua tarkemmin etukäteen. Varjojen tummuus -ongelmaa ei saatu ratkaistua projektin puitteissa.

### 5.3.4 Käyttöliittymän totutus

Käyttöliittymää alettiin toteuttamaan suunnitelmien pohjalta. Käyttöliittymästä yritettiin tehdä mahdollisimman helppokäyttöinen, jotta kaikki museokävijät voisivat vaivattomasti käyttää virtuaalimallia ilman erillisiä ohjeita.

Käyttöliittymä toteutettiin niin, että sovellus aukeaa Lahden kylä -näkömään ja virtuaalinen kamera pyörii hitaasti aluetta ympäri. Näkymää voidaan pyöritellä myös omaan tahtiin sormella pyyhkäisemällä. Käyttöliittymän vasemmassa ylänurkassa on kaksi nappia, joista toisesta saadaan vaihdettua näkymää ja toisesta saadaan lisätietoa kohteista. Kuva 22 havainnollistaa sitä, miltä käyttöliittymän inforuutu näyttää ja miten se toimii. Painamalla kosketusnäytöllä näkymässä olevaa kohdetta virtuaalinen kamera zoomaa kohteeseen ja alkaa pyörimään sen ympäri. Erillisten kohteiden eli esimerkiksi Lahden kylä -näkömässä rakennusten päällä on keltainen kuutio, joka kertoo, että kyseisestä kohteesta on saatavilla lisätietoa. Inforuutu, jossa on lisätietoa kohteesta, tulee siis näkyville, kun käyttäjä painaa vasemmalla yläkulmassa olevaa i-merkkiä. Myös muita kohteita, joiden päällä ei ole keltaista merkkiä, on mahdollista tarkastella lähietäisyydeltä klikkaamalla haluttua kohdetta.



KUVA 22. Ylinen Viipurin tie ja sen inforuutu



KUVA 23. Lahden torikaivausalue

### 5.3.5 Skriptaus

Skriptaus on olennainen osa käyttöliittymän luomista. Scriptien avulla voidaan esimerkiksi luoda graafisia tehosteita ja hallita objekteja, kuten kameran fyysistä käyttäytymistä. Skriptikieli on ohjelmointikieli, jonka avulla kirjoitetaan komentosarjoja.

Projektin koodipuolesta ja käyttöliittymän toteutuksesta vastasi Lauri Heikinmäki. Projektissa kaikki skriptit eli koodit luotiin C#-ohjelmointikielellä. Käyttöliittymän virtuaalisen kameran liikettä hallittiin skriptin avulla. Komentosarjojen avulla kameran liikkeestä, kiertoradasta ja nopeudesta saatiin sujuvaa ja toivotun laista. Kameraskriptin avulla myös mahdollistettiin loppukäyttäjän vuorovaikutus kameran liikkeeseen. Käyttöliittymän molempien näkymien, sekä Lahden kylä- että kaivausnäkyvän, kameran toiminnot luotiin koodien avulla.

Graafisen käyttöliittymän painiketoiminnot toteutettiin myös koodilla. Kohteiden erillinen tarkastelu ja käyttöliittymässä olevien painikkeiden toiminnot mahdollistettiin koodilla. Koodissa määritettiin, että kun valitaan jokin kohde ohjelmasta, kamera kohdentuu tähän kohteeseen ja lähtee kiertämään sitä. Siinä määrättiin myös, että kun käyttäjä klikkaa jotain kohtaa

valitun kohteen ulkopuolella, kamera siirtyy takaisin kiertämään kohteiden laajaa näkymää. Näkymän vaihto suoritettiin myös koodilla. Käyttäjälle annettiin mahdollisuus vaihtaa näkymää käyttöliittymän vasemmassa reunassa olevasta siihen tarkoitettuun painikkeesta painamalla.

### 5.3.6 Testaus

Käyttöliittymää täytyy testata säännöllisin väliajoin, jotta varmistetaan sen toiminnallisuus ja voidaan tehdä tarvittavat muutokset, jotta ongelmat eivät ehdi kasautua. Testauksessa saadaan käyttöliittymän ongelmakohdat esille ja niihin voidaan puuttua jo etukäteen. Syntyneisiin ongelmiin täytyy keksiä ratkaisu, jotta käyttöliittymästä saadaan toimiva kokonaisuus.

Lahden kylä -virtuaalimallia tehdessä käyttöliittymää testattiin useaan otteeseen. Käyttöliittymää testattiin itse säännöllisin väliajoin, mutta sitä testautettiin myös asiakkaalla. Asiakkaalla testauttaminen oli hyödyllistä, sillä sen avulla saatiin pidettyä yhteinen päämäärä ja saatiin samalla myös tietoa ulkopuolisen näkemyksestä käyttöliittymään. Testauksessa tuli esille uusia kehitys- ja muutosideoita, joita koitettiin mahdollisuuksien mukaan toteuttaa. Käyttöliittymän testaus antoi usein onnistumisen tunteen ja tiedon siitä, että projekti on hyvää vauhtia menossa eteenpäin.

## 5.4 Projektin yhteenveto

Projektin lopputuloksena oli virtuaalimalli, jossa näyttelyvieraat voivat pyöritellä kosketusnäytöllä kaivaus- ja Lahden kylä -näkymää. Käyttöliittymässä näyttelyvieras voi myös tutkia erilaista tietoa ja kuvamateriaalia virtuaalimallin eri kohteista.

Projektisuunnitelman tavoitteisiin päästiin kiitettävästi, ja toimeksiantaja oli myös tyytyväinen lopputulokseen. Mallinnuksen osalta saatiin kasaan visuaalinen ja toimiva kokonaisuus. Projektissa mallinnettiin kaikki sovitut alueet, mutta joitakin pieniä yksityiskohtia jouduttiin kuitenkin karsimaan, koska ohjelmasta tuli jo muutenkin liian raskas. Käyttöliittymän osalta päästiin myös tavoitteisiin. Valmiista käyttöliittymästä tuli sellainen, kuin

projektisuunnitelmassa olimme kaavailleet. Suurimmilta ongelmatilanteilta vältyttiin. Projektin aikana pidettiin asiakkaaseen yhteyttä tasaisin väliajoin, jolla vältyttiin ylimääräiseltä työltä. Asiakaspalaverissa saatiin hyvää palautetta ja myös joitakin muutostoiveita, joiden avulla muokattiin projektia toivottuun suuntaan. Joitakin ongelmia tuli vastaan mallinnusobjektien siirtämisessä ohjelmasta toiseen, mutta onneksi ongelma saatiin korjattua vaivattomasti. Käyttöliittymän raskauteen liittyvä ongelma, koitettiin ottaa heti alusta asti huomioon, mutta testattaessa käyttöliittymää museon laitteilla huomattiin käyttöliittymän tökkivän jonkin verran. Ongelma ratkaistiin huonompi laatuisten grafiikoiden käytöllä, koska muutoksia ei enää olisi ehditty tekemään eikä uusia laitteita hankkimaan. Tähän grafiikkatasoon oltiin myös tyytyväisiä ja suunnitelmana oli hankkia syksyllä tehokkaampi tietokone, jotta virtuaalimalli saataisiin myöhemmin toimimaan korkeammilla grafiikoilla. Virtuaalimalli tuli esille Tuhkasta nousi Lahti -näyttelyyn (kuva 24) 4.7.2014 ja näyttelyn suunniteltu pituus on 3 vuotta.



KUVA 24. Virtuaalimalli Tuhkasta nousi Lahti -näyttelyssä.

## 5.5 Käyttökokemukset

Virtuaalimallin käytöstä tehtiin pienimuotoinen kysely (liite 1), jonka tarkoituksena oli kartoittaa, millaisena sen käytettävyys on koettu ja pidettiinkö 3D-tekniikan hyödyntämistä museotarkoituksiin tarpeellisena ja kannattavana. Kysely osoitettiin Lahden kaupunginmuseon tutkimuspäällikkö Hannu Takalalle, joka oli toiminut koko projektin ajan yhtenä Lahden Museoiden yhteyshenkilönä. Takala itse vastasi kyselyyn omien kokemustensa perusteella (liite 2) ja toimitti kyselyn myös Lahden museon asiakaspalvelijoille, jotka esittelevät päivittäin virtuaalimallia näyttelyssä. Hekin vastasivat kyselyyn omien kokemustensa perusteella (liite 3).

Virtuaalimalliin asiakas on ollut tyytyväinen, koska se on elävöittänyt hyvin perinteistä museonäyttelyä. Asiakas on myös sitä mieltä, että virtuaalimalli on tuonut lisäarvoa näyttelyyn ja sen avulla on voitu hyvin yhdistellä kaivausta ja kylän historiaa. Yleisesti virtuaalimallin käytettävyys on koettu selkeäksi ja helppokäyttöiseksi. Sen kaikki toiminnot ovat myös toimineet hyvin, mutta johtuen museon tehottomasta tietokoneesta virtuaalimalli toimii hitaasti. Koneen hitaus tietenkin jonkin verran syö käyttökokemusta. Kosketusnäyttö-ominaisuudet ovat myös toimineet hyvin.



KUVA 25. Lahden kylä -näkyvä kosketusnäytöllä

Virtuaalimallin käytön ohjeistaminen on koettu myös helpoksi, eikä sen käyttöä edes ole suuremmin tarvinnut opastaa. Laite on yleisesti museon asiakkaiden omatoimisessa käytössä ja henkilökunta opastaa vain tarvittaessa. Virtuaalimalli on vuorovaikutteisuutensa ansiosta koettu merkittäväksi osaksi Tuhkasta nousi Lahti -näyttelyä. Museovieraat ovat näyttelyssä pääsääntöisesti pysähtyneet tarkastelemaan tätä virtuaalimallia. Kiinnostusta virtuaalimallia kohtaan ovat osoittaneet niin koululaisryhmät kuin varttuneemmatkin museovieraat.

Virtuaalimalli on vielä tällä hetkellä nähtävissä Tuhkasta nousi Lahti -näyttelyssä. Näyttelyn on kaavailtu jatkuvan vielä vuosia, joten virtuaalimalli on museovieraiden käytettävissä pidempään kuin alun perin oli suunniteltu.

## 5.6 Kehityskohteet

Vaikka Lahden kylä -virtuaalimalliin oltiin tyytyväisiä, olisi silti vielä joitain asioita voitu tehdä paremmin. Jos projekti olisi ollut pidempi, olisi voitu keskittyä enemmän myös kasvillisuuden mallintamiseen. Tällä olisi saatu enemmän eloisuutta Lahden kylä -näkömään. Jos kasvillisuutta olisi lisätty, olisi pitänyt muistakin mallin objekteista tehdä vähempi polygonisia, jotta ohjelmasta ei olisi tullut liian raskas, tai vaihtoehtoisesti ainakin laitteiston, jolla virtuaalimallia pyöritetään, olisi pitänyt olla tehokkaampi.

Virtuaalimallin valaistusta olisi voitu myös parantaa, niin että rakennuksien reunustat eivät olisi jääneet pimentoon eivätkä varjot olisi olleet niin tummat. Unity Technologies -yritykseltä on tullut uusi Unity 5 -sovellusalausta, jossa on uusia valaistusominaisuuksia. Yksi sen graafisista toiminnoista on reaaliaikainen globaalivalaistus, johon on yhdistetty uusia ja huomattavasti parempia valaistustyökaluja. Tämän globaalin valaistumahdollisuuden avulla olisi käyttöliittymään voitu luoda helposti realistisempi ja parempi valaistus. Jos Lahden kylä -virtuaalimallin valaistusta halutaan vielä lähteä jatkokehittämään, olisi mielestäni Unityn reaaliaikainen globaalivalaistus tähän varteenotettava vaihtoehto.

Projektissa mallinnettavat osat kasattiin ja vietiin Unity-pelimoottoriin vasta projektin loppupuolella, mikä ei ollut paras ratkaisu. Mallinnetuista objekteista olisi voitu tehdä aikaisemmassa vaiheessa välikasaus, jolla olisi voitu välttyä monilta ongelmilta. Tällöin objektien yhdistelemisessä syntyneisiin ongelmiin olisi voitu keksiä jo aikaisemmassa vaiheessa ratkaisu. Esimerkiksi kattojen materiaalit olisi voitu tehdä jollakin muulla tapaa, jos olisi tiedetty aikaisemmin, että materiaalit eivät toimi Unityssä niin kuin oli kuviteltu. Aikaisemmassa vaiheessa virtuaalimalliin tehty valojen testaus olisi antanut enemmän aikaa perehtyä valojen ominaisuuksiin ja siihen, miten varjot käyttäytyvät virtuaalimallissa.

Jos olisi ollut enemmän aikaa, olisi voitu joihinkin kohteisiin keskittää enemmän aikaa ja luoda vaikka niihin myös sisätiloja. Esimerkiksi kaupparakennukseen, josta oli paljon erilaisia löydöksiä, olisi voitu käyttää enemmän aikaa ja mallintaa sen sisätilat tuotevalikoimineen. Myös joitakin hyviä graafiseen ulkoasuun liittyviä ideoita jäi toteuttamatta ajanpuutteen takia. Tällaisia ideoita olivat esimerkiksi savupiippujen savuanimaatiot, GUI-nappien animaatiot ja GUI-laatikoiden häivytykset.

Muutamia kehitysideoitakin virtuaalimalliin ja sen ominaisuuksiin saatiin myös asiakkaalta käyttökokemus-kyselyn ansiosta. Asiakkaan mielestä kokemus virtuaalimallista on ollut hyvä, siksi sen ominaisuuksien laajentaminen olisi voinut olla hyvä idea. Lahden kylän historiallista osuutta olisi voitu laajentaa ja mallinnettujen rakennusten ulkoasuissa olisi voitu vielä enemmän pyrkiä autenttisuuteen. Virtuaalimallin eri kohteisiin olisi vielä voitu lisätä enemmänkin alkuperäisiä dokumentteja, kuten karttoja ja muistiinpanoja. Yhtenä kehitysideana oli myös englanninkielinen versio.

## 6 YHTEENVETO JA TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Historiallisia esineitä ja rakennuksia pystytään rekonstruoida kätevästi 3D-mallinnuksen avulla. Digitaalisen mallin hyviä puolia on sen helppo säilyttäminen ja muutosten teko. Nykytekniikalla 3D-mallista voidaan myös tulostaa fyysinen kappale; tällä tapaa niitä voidaan esimerkiksi esitellä museoissa pienoismallien tapaan. Muinaisten esineiden ja rakennusten virtuaalinen rekonstruointi antaa uusia mahdollisuuksia historian esittämiseen. Malleista voidaan tuottaa erilaisia virtuaalisia esityksiä, kuten esimerkiksi animaatioita, joissa on liikettä ja sanallista informaatiota.

3D-teknologian kehitys auttaa palauttamaan sen, mitä on menetetty, ja saavuttamaan enemmän arvostusta sitä kohtaan. Sen avulla voidaan selkeämmin nähdä, mistä tähän hetkeen on tultu, ja historian tietämyksen avulla voidaan myös saada kirkkaampi käsitys siitä, mitä on tulossa. (Fu 2013.)

Arkeologisissa tutkimuksissa ja yleisesti historian visualisoinnissa tullaan varmasti käyttämään yhä enemmän 3D-malleja. Historiallisten esineiden ja rakennusten taltiointiin ja visualisointiin kehitetään koko ajan parempia tekniikoita.

3D-tulostusominaisuudet kehittyvät koko ajan, esimerkiksi tulostimien tarkkuus, nopeus ja tulostusaineiden valikoima ovat kehittyneet huimasti viime vuosien aikana. Kehitteillä on tällä hetkellä myös tulostimia, joilla voidaan tulostaa useammalla eri aineella ja luoda esineitä, joissa on toimivia osia ja jotka on varustettu aktiivisilla johdoilla. (Smith 2014.)

## LÄHTEET

### PAINETUT LÄHTEET:

Halinen, P., Immonen, V., Lavento, M., Mikkola, T., Siiriäinen, A. & Uino, P. 2008. Johdatus arkeologiaan. Tampere: Tammer-Paino Oy.

Hintikka, K. A., Kojo, I. & Metsämäki, M. 1998. Virtuaaliympäristöjen suunnitteluopas. Helsinki: Edita.

Keränen, V., Lamberg, N. & Penttinen, J. 2005. Digitaalinen media 2005. Porvoo: WS Bookwell.

Miettunen, U. 2015. Infrastrukturi 2015, Tarkkaa mittaamista laserkeilauksella. Media Planet Kauppalehden ilmoitusliite 2015.

Nordic Geo Center. 2015. Infrastrukturi 2015, Laserskannereiden uudet mahdollisuudet. Media Planet Kauppalehden ilmoitusliite 2015.

Sharpe, J., Lumsden, C. J. & Woolridge, N. 2010. Computer Animation Complete 2010. USA: Morgan Kaufmann Publishers.

Song, Y., Wang, H., Hamilton, A., & Arayici, Y. 2009. Producing 3D Applications for Urban Planning by Integrating 3D Scanned Building Data with Geo-spatial Data. Teoksessa Lee, J. & Zlatanova, S. (toim.) 3D Geo-Information Sciences. Berliini: Springer, 400.

Stanney, K., Hale, K. & Zyda, M. 2015. Virtual Environments in the Twenty-First Century. Handbook of virtual environments: design, Implementation, and Applications. Second edition. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group. 3-22.

### SÄHKÖISET LÄHTEET:

Autodesk. 2014a. Arch & design material [viitattu 18.3.2015]. Saatavissa: <https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/3DSMax/files/GUID-6F13FC90-80A4-4092-BB5F-662546685C2B-htm.html>

Autodesk. 2014b. 3ds Max Interface Overview [viitattu 31.3.2016]. Saatavissa: <https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/3DSMax/files/GUID-212A9477-E69E-4174-BB6F-1B7FD97A4281-htm.html>

Autodesk. 2015. 3D modelling, animation, and rendering software. 3ds Max [viitattu 25.1.2015]. Saatavissa: <http://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview>

Autodesk. 2016a. About Autodesk ReCap 2016 [viitattu 2.3.2016]. Saatavissa: <https://knowledge.autodesk.com/support/recap/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/Reality-Capture/files/GUID-01AB7E43-C03C-47FE-9D6D-376E1F2FDCBA-htm.html>

Autodesk. 2016b. Autodesk ReCap is Reality Computing [viitattu 2.3.2016]. Saatavissa: <https://recap.autodesk.com/>

Autodesk. 2016c. How ReCap works [viitattu 2.3.2016]. Saatavissa: <https://recap.autodesk.com/how-recap-works/>

Autodesk. 2016d. 3ds Max 2016 –ohjelmiston uudet ominaisuudet [viitattu 15.3.2016]. Saatavissa: <http://www.autodesk.fi/products/3ds-max/features/new/gallery-view>

Blender Foundation. 2012. Flexible UI [viitattu 31.3.2015]. Saatavissa: <https://www.blender.org/wp-content/uploads/2012/11/Flexible-UI.png?61a898>

Blender Foundation. 2015. The software. About [viitattu 31.3.2015]. Saatavissa: <http://www.blender.org/about/>

Debenjak, A. 2014. Digitaalinen fotogrammetria -uusi menetelmä suomalaisen arkeologian kentälle? [viitattu 25.3.2015]. Saatavissa: [http://www.academia.edu/9262215/Digitaalinen\\_fotogrammetria\\_uusi\\_menetelm%C3%A4\\_suomalaisen\\_arkeologian\\_kent%C3%A4lle](http://www.academia.edu/9262215/Digitaalinen_fotogrammetria_uusi_menetelm%C3%A4_suomalaisen_arkeologian_kent%C3%A4lle)

De Reu, J., De Smedt, P., Herremans, D., Van Meirvenne, M., Laloo, P. & De Clercq, W. 2013. On introducing an image-based 3D reconstruction method in archaeological excavation practice. Journal of Archaeological Science [viitattu 4.3.2015]. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440313003099>

Digital Archaeology. 2014. Photorealistic virtual archaeology-presentation [viitattu 18.2.2015]. Saatavissa: <http://www.digital-archaeology.com/3D-3D-Stills.html>

Digital history studios. 2013. 360 degree virtual tour of the Roman Colosseum [viitattu 17.3.2015]. Saatavissa: <http://www.3dhistory.com/#!/menu/cnyl>

Epic Games. 2016. What is Unreal Engine 4. [viitattu 9.3.2016]. Saatavissa: <https://www.unrealengine.com/what-is-unreal-engine-4>

Foit, K. 2007. Introduction to use virtual reality visualisations in the exploitation and virtual testing of machines. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering [viitattu 4.3.2015]. Saatavissa: [http://www.journalamme.org/papers\\_vol25\\_2/2531.pdf](http://www.journalamme.org/papers_vol25_2/2531.pdf)

Fu, P. 2013. Making history live again with 3D-technology. Makezine [viitattu 10.1.2015]. Saatavissa: <http://makezine.com/magazine/making-history-live-again-with-3d-technology/>

Grellert, M. & Pfarr-Harfst, M. 2014. 25 Years of Virtual Reconstructions. CHNT [viitattu 15.1.2015]. Saatavissa: [http://www.chnt.at/wp-content/uploads/Grellert\\_Pfarr-Harfst\\_2014.pdf](http://www.chnt.at/wp-content/uploads/Grellert_Pfarr-Harfst_2014.pdf)

Helamaa, M. 2014. Lahden kaupunginmuseo. Tie2\_pinnan\_kaivamista2\_IMG\_1297.jpg [viitattu 25.4.2016].

Häyrinen, A. 2001. Kolmiulotteista historian kirjoitusta. Agricola [viitattu 5.9.2015]. Saatavissa: <http://agricola.utu.fi/julkaisut/tietosanomat-1998-2005/numero4-01/3dhistoriaa.html>

Jyväskylän yliopisto. 2010a. Virtuaalilikylä [viitattu 25.2.2015]. Saatavissa: <http://virtuaalitoivola.jyu.fi/3d.html>

Jyväskylän yliopisto. 2010b. Virtuaalinen 1700-luvun alun Toivola [viitattu 25.2.2015]. Saatavissa: <http://virtuaalitoivola.jyu.fi/index.html>

Lahden kaupunginmuseo. 2014. AVP ilmakehu. DSC05201 [viitattu 25.4.2016].

Lahden Museot. 2013. Lahden torikaivaus 2013. Arkeologiset kaivaukset torilla ovat päättyneet [viitattu 23.4.2016]. Saatavissa: <http://www.lahden-museot.fi/museot/fi/tutkimus-ja-kulttuuriymparistoyksikko/arkeologia/projektit/lahden-torikaivaus-2013/>

Maxon. 2016a. Cinema 4D Broadcast. The 3D motion graphics powerhouse [viitattu 15.3.2016]. Saatavissa: <http://www.maxon.net/products/cinema-4d-broadcast/who-should-use-it.html>

Maxon. 2016b. Cinema 4D Prime – Professional 3D starts here [viitattu 15.3.2016]. Saatavissa: <http://www.maxon.net/products/cinema-4d-prime/who-should-use-it.html>

Maxon. 2016c. Cinema 4D Studio – Everything you need for high-end 3D [viitattu 15.3.2016]. Saatavissa: <http://www.maxon.net/products/cinema-4d-studio/who-should-use-it.html>

Maxon. 2016d. Cinema 4D Visualize. Professional solution for architects, designers & photographers [viitattu 15.3.2016]. Saatavissa: <http://www.maxon.net/products/cinema-4d-visualize/who-should-use-it.html>

Maxon. 2016e. Overview. Cinema 4D – from dream to screen [viitattu 15.3.2016]. Saatavissa: <http://www.maxon.net/products/new-in-cinema-4d-r17/overview.html>

Museovirasto. 2015. Olavinlinnan 3D-mallinnus [viitattu 25.2.2015]. Saatavissa: <http://www.kansallismuseo.fi/olavinlinna/rakennusvaiheet>

Paschall, A. 2015. Unreal Engine 4.10 released. Epic Games [viitattu 9.3.2016]. Saatavissa: <https://www.unrealengine.com/blog/unreal-engine-4-10-released>

Ramboll. 2015. Virtuaalimallinnus. [viitattu 16.1.2015]. Saatavissa: [http://www.ramboll.fi/palvelut/infra\\_ja\\_liikenne/virtuaalimallinnus](http://www.ramboll.fi/palvelut/infra_ja_liikenne/virtuaalimallinnus)

Remondino, F. & Rizzi, A. 2010. Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites—techniques, problems, and examples [viitattu 24.3.2015]. Saatavissa: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12518-010-0025-x>

Slick, J. 2015a. Rendering [viitattu 8.4.2015]. Saatavissa: <http://3d.about.com/od/Glossary-R/g/Rendering.htm>

Slick, J. 2015b. What is Rendering? [viitattu 8.4.2015]. Saatavissa: <http://3d.about.com/od/3d-101-The-Basics/a/Rendering-Finalizing-The-3d-Image.htm>

Smith, R. 2014. 3D-tulostus mullistaa maailmaa [viitattu 17.3.2015]. Saatavissa: <http://natgeo.fi/tiede/3d-tulostus-mullistaa-maailmaa>

The Trustees of the Natural History Museum, London. 2016. Explore virtual reality with David Attenborough's First Life [viitattu 24.3.2016]. Saatavissa: <http://www.nhm.ac.uk/about-us/news/2015/june/dive-back-in-time-with-david-attenborough-s-first-life.html>

ThinkScan solutions Ltd. 2015. Statues and museum artifact 3D scanning [viitattu 17.3.2015]. Saatavissa: <http://www.thinkscan.co.uk/thinkscan-blog/137-statues-and-museum-artifact-3d-scanning.html>

Torkkel, A. 2015. Animaatio [viitattu 25.2.2015]. Saatavissa: <https://aletorkkel.com/category/animaatio/>

Towrie, S. 2010. Laser scanning the heart of neolithic Orkney [viitattu 24.4.2016]. Saatavissa: <http://www.orkneyjar.com/archaeology/2010/08/19/laser-scanning-the-heart-of-neolithic-orkney/>

Unity Technologies. 2015a. Unity Manual. UI [viitattu 25.3.2016]. Saatavissa: <http://docs.unity3d.com/Manual/UISystem.html>

Unity Technologies. 2015b. Unity Manual. Working In Unity [viitattu 25.3.2016]. Saatavissa: <http://docs.unity3d.com/Manual/UnityOverview.html>

University of Reading. 2015. Virtual Rome [viitattu 25.2.2015]. Saatavissa: <http://www.reading.ac.uk/classics/research/Virtual-Rome.aspx>

Versoteq 3D Solutions Oy. 2015. Versoteq raportti. 3D-tekniikka museoissa [viitattu: 15.1.2016]. Saatavissa: <http://versoteq.com/versoteq-raportti>

Whitfield, N. 2015. Saatavissa: [http://www.theregister.co.uk/2015/06/20/natural\\_history\\_museum\\_david\\_attenborough\\_first\\_life\\_review/](http://www.theregister.co.uk/2015/06/20/natural_history_museum_david_attenborough_first_life_review/)

Yle. 2015a. Maan povesta -Suomen arkeologiaa. Arkeologiset tutkimusmenetelmät [viitattu 24.3.2015]. Saatavissa: <http://yle.fi/vintti/yle.fi/arkeologia/index432a.html?318>

Yle. 2015b. Maan povesta -Suomen arkeologiaa. Mitä arkeologia on? [viitattu 24.3.2015]. Saatavissa: <http://yle.fi/vintti/yle.fi/arkeologia/index37b4.html?arkeologia>

## LIITTEET

### LIITE 1 Käyttökokemus-kyselylomake

Lahden Museot-LAMK –projekti  
Lahden kylä -virtuaalimalli  
Kevät 2014

#### Käyttökokemus-kysely

1. Oletteko olleet tyytyväisiä Lahden kylä -virtuaalimalliin? Miksi?
2. Onko virtuaalimalli toiminut toivotulla tavalla?
3. Onko kosketusnäyttö-ominaisuudet toimineet hyvin?
4. Minkälaiseksi olette kokeneet Lahden kylä -virtuaalimallin käytettävyyden?
5. Onko virtuaalimallin käyttöä ollut helppoa opastaa museokävijöille?

Lahden Museot-LAMK –projekti  
Lahden kylä -virtuaalimalli  
Kevät 2014

6. Ovatko museokävijät osoittaneet kiinnostusta Lahden kylä -virtuaalimallia kohtaan?

7. Minkä ikäluokan ihmiset ovat olleet kiinnostuneimpia virtuaalimallista/käyttäneet -  
mallia eniten?

8. Onko Lahden kylä -virtuaalimalli vielä nähtävissä museonäyttelyssä?

9. Onko teille tullut mieleen jonkinlaisia kehitysideoita koskien Lahden kylä -virtuaalimallia  
tai sen ominaisuuksia?

Lahden Museot-LAMK –projekti  
Lahden kylä -virtuaalimalli  
Kevät 2014

**10. Onko 3D-tekniikan hyödyntäminen museo tarkoituksiin ja arkeologisten löydösten esittelyyn mielestänne ollut kannattavaa? Miksi?**

**11. Millaisena näette 3D-tekniikan tulevaisuuden museoissa ja arkeologiassa?**

**Kiitos vastauksista ja ajastanne!**

LIITE 2 Kyselyn vastaukset, Lahden Museoiden tutkimuspäällikkö Hannu Takala

Lahden Museot-LAMK –projekti  
Lahden kylä -virtuaalimalli  
Kevät 2014

### Käyttökokemus-kysely

**1. Oletteko olleet tyytyväisiä Lahden kylä -virtuaalimalliin? Miksi?**

Kyllä. On antanut hyvän lisän näyttelyyn ja kaivausta sekä kylän historiaa on voinut yhdistellä hyvin.

**2. Onko virtuaalimalli toiminut toivotulla tavalla?**

Itse malli on toiminut hyvin, mutta museolla oleva tietokone, joka ohjelmaa pyörittää, on liian hidas/heikkotehoinen ja sen vuoksi ohjelma toimii hitaasti.

**3. Onko kosketusnäyttö-ominaisuudet toimineet hyvin?**

On.

**4. Minkälaiseksi olette kokeneet Lahden kylä -virtuaalimallin käytettävyyden?**

Selkeäksi.

**5. Onko virtuaalimallin käyttöä ollut helppoa opastaa museokävijöille?**

Omasta mielestäni on.

**6. Ovatko museokävijät osoittaneet kiinnostusta Lahden kylä -virtuaalimallia kohtaan?**

-

Lahden Museot-LAMK –projekti  
Lahden kylä -virtuaalimalli  
Kevät 2014

**7. Minkä ikäluokan ihmiset ovat olleet kiinnostuneimpia virtuaalimallista/käyttäneet -  
mallia eniten?**

-

**8. Onko Lahden kylä -virtuaalimalli vielä nähtävissä museonäyttelyssä?**

On.

**9. Onko teille tullut mieleen jonkinlaisia kehitysideoita koskien Lahden kylä -virtuaalimallia  
tai sen ominaisuuksia?**

Tietenkin historiallista osuutta voisi laajentaa ja ehkä pyrkiä parempaan autenttisuuteen  
mallinnettujen rakennusten kanssa. Samoin voisi ehkä lisätä kaivauksesta alkuperäisiä  
dokumenteja (karttoja, muistiinpanoja yms.) niihin kohtiin, jotka mallissa pyörivät. Eli laajentaa,  
koska kokemus on mielestäni ollut hyvä.

**10. Onko 3D-tekniikan hyödyntäminen museo tarkoituksiin ja arkeologisten löydösten  
esittelyyn mielestänne ollut kannattavaa? Miksi?**

On. Monipuolistaa huomattavasti perinteistä "esine vitriinissä" näyttelyä. Ihmiset ovat myös  
tottuneet tämän tyyppiin ohjelmiin elämässä museon ulkopuolella!

**11. Millaisena näette 3D-tekniikan tulevaisuuden museoissa ja arkeologiassa?**

Tulee laajenemaan merkittävästi.

## LIITE 3 Kyselyn vastaukset, Lahden Museoiden asiakaspalvelijat

Lahden Museot-LAMK –projekti  
Lahden kylä -virtuaalimalli  
Kevät 2014

### Käyttökokemus-kysely

**1. Oletteko olleet tyytyväisiä Lahden kylä -virtuaalimalliin? Miksi?**

Näyttelyssä on seinillä paljon tekstiä luettavana, jolloin virtuaalimalli on elävöittänyt näyttelyä mukavasti.

**2. Onko virtuaalimalli toiminut toivotulla tavalla?**

Näyttelyn tietokone on hidas, mutta toiminut kyllä.

**3. Onko kosketusnäyttö-ominaisuudet toimineet hyvin?**

On toiminut.

**4. Minkälaiseksi olette kokeneet Lahden kylä -virtuaalimallin käytettävyyden?**

Helppokäyttöinen

**5. Onko virtuaalimallin käyttöä ollut helppoa opastaa museokävijöille?**

Laite on ollut asiakkaiden omatoimisessa käytössä. Ei ole vaatinut erillistä opastusta.

**6. Ovatko museokävijät osoittaneet kiinnostusta Lahden kylä -virtuaalimallia kohtaan?**

Virtuaalimalli on ollut aika merkittävä osa Tuhkasta nousi Lahti -näyttelyä, sen vuorovaikutteisuuden takia. Harva kävelee sen ohi.

Lahden Museot-LAMK –projekti  
Lahden kylä -virtuaalimalli  
Kevät 2014

**7. Minkä ikäluokan ihmiset ovat olleet kiinnostuneimpia virtuaalimallista/käyttäneet -  
mallia eniten?**

Yhtälailla kouluryhmät kuin varttuneemmatkin.

**8. Onko Lahden kylä -virtuaalimalli vielä nähtävissä museonäyttelyssä?**

Kyllä

**9. Onko teille tullut mieleen jonkinlaisia kehitysideoita koskien Lahden kylä -virtuaalimallia  
tai sen ominaisuuksia?**

Englannin kieliversio olisi voinut olla hyvä.

**10. Onko 3D-tekniikan hyödyntäminen museo tarkoituksiin ja arkeologisten löydösten  
esittelyyn mielestänne ollut kannattavaa? Miksi?**

Havainnollistaa elävästi ja kiinnittää asiakkaan huomion

**11. Millaisena näette 3D-tekniikan tulevaisuuden museoissa ja arkeologiassa?**

-