

3D-mallintaminen kulttuurihistoriallisten museoiden toiminnan tukena

Pinja Tervonen

Pro gradu -tutkielma

Historian ja arkeologian tutkinto-ohjelma, arkeologia

Historian, kulttuurin ja taiteiden tutkimuksen laitos

Humanistinen tiedekunta

Turun yliopisto

Helmikuu 2022

Turun yliopiston laatu järjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu

Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Pro gradu -tutkielma

Historian ja arkeologian tutkinto-ohjelma, arkeologia

Pinja Tervonen

3D-mallintaminen kulttuurihistoriallisten museoiden toiminnan tukena

76 sivua

Tutkimus käsittelee museoesineiden 3D-mallien hyödyntämistapoja kulttuurihistoriallisissa museoissa. 3D-mallintaminen on museoalalla nousussa oleva ilmiö, joka tuo alalle uusia keinoja käsitellä kulttuuriperintöä. Tutkimuksen aineisto koostuu tieteellisistä artikkeleista, joissa esitellään 3D-mallintamista sisältäviä tutkimuksia ja projekteja. Aineiston avulla tarkastellaan kulttuurihistoriallisten museoiden tapoja hyödyntää 3D-tekniologiaa museoiden eri osa-alueilla, kuten näyttelyissä, työpajoissa, kokoelmanhallinnassa ja tutkimuksessa. Tutkimuksessa tarkastellaan, miten 3D-mallintaminen tukee museoiden tehtävää ja tarkoitusta, sekä havainnollistetaan 3D-tekniologian runsaita mahdollisuuksia museokentällä.

3D-tekniologian sisällyttäminen museoihin lisää museokävijöiden kiinnostusta näyttelyiden teemoihin, eikä hyvin toteutettu 3D-tekniologia vähennä fyysisten kokoelmien arvoa. 3D-tekniologia tukee fyysisiä kokoelmia, ja auttaa turvaamaan arvokkaan kulttuuriperinnön säilymistä, jos kokoelmia tai yksittäisiä esineitä kohtaisi onnettomuus tai ajan myötä tapahtuva tuhoutuminen. 3D-mallintamalla voi lisätä esimerkiksi koskettamisen mahdollisuutta museoissa, mikä parantaa saavutettavuutta erityisesti näkövammaisten kohdalla. 3D-mallien lisääminen museoihin tulee kuitenkin olla harkittua, sillä mikä tahansa ratkaisu ei tee museosta saavutettavaa. 3D-tekniologia voi myös luoda teknologiakuiluja eri kohderyhmien välille, varsinkin jos toteutus on monimutkaisesti käytettävissä. Aineiston perusteella museokävijät vaikuttavat suosivan varsinkin interaktiivisuutta sisältäviä 3D-tekniologian toteutuksia, kuten lisättyä todellisuutta ja mahdollisuutta koskea 3D-tulosteisiin. 3D-tekniologian sisällyttäminen osaksi museoiden arkipäivää auttaa museoita toteuttamaan tehtävänsä nykyaikaisten standardien mukaisesti, edistäen varsinkin saavutettavuutta, tutkimusta, tiedon saatavuutta ja kulttuuriperinnön säilyttämistä.

Avainsanat: museot, kulttuurihistorialliset museot, museoesineet, kulttuuriperintö, 3D-mallinnus, virtuaalimuseot, lisätty todellisuus, virtuaalitodellisuus, 3D-tulostus, haptinen tekniologia

Sisällys

1	Johdanto	5
1.1	<i>Tutkimuksen tausta ja tavoitteet</i>	5
1.2	<i>Käsitteiden määrittely</i>	7
2	Teoreettinen viitekehys	9
2.1	<i>Tutkimushistoriaa</i>	9
2.2	<i>Museoiden roolista</i>	12
2.3	<i>Yleiset esineiden 3D-mallintamisen tekniikat</i>	15
2.3.1	3D-mallintamisesta	15
2.3.2	Fotogrammetria	15
2.3.3	3D-mallintaminen laserkeilaamalla	16
2.3.4	3D-mallintaminen rakennevaloskannerilla	17
2.3.5	3D-tulostaminen	18
3	Aineiston esittely	20
4	Aineiston analyysi	35
4.1	<i>3D-mallien käyttömahdollisuuksia</i>	35
4.2	<i>Virtuaalimuseot, lisätty todellisuus ja virtuaalitodellisuus</i>	35
4.3	<i>Esineestä virtuaaliseksi ja takaisin – 3D-tulostaminen ja haptinen teknologia näyttelyissä</i>	42
4.4	<i>3D-teknologia työpajojen tukena</i>	48
4.5	<i>3D kokoelmanhallinnan ja -hoidon tukena</i>	50
4.6	<i>Esinetutkimusta 3D-teknologiaa hyödyntäen</i>	52
5	3D-mallintaminen museoiden tehtävän tukena	55
6	Yhteenveto	64
	Lähdeluettelo	67

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Teknologia on läsnä elämässämme tavalla, joka tekee tiedon levittämisestä ja vastaanottamisesta helpompaa ja nopeampaa kuin koskaan ennen. Tämän vuoksi museoalan on myös pyrittävä tarjoamaan ihmisille tapoja tutustua kulttuuriperintöön esimerkiksi tietokoneen tai älypuhelimien välityksellä, samoin kun tuomalla teknologiaa osaksi nykyaikaisia museonäyttelyitä. Teknologia mahdollistaa virtuaalisen pääsyn esimerkiksi arkeologisille kohteille, ja museot voivat tuoda menneisyyttä ihmisten ulottuville entistä kiehtovammin (Katz & Tokovinine 2017: 1). Vuonna 2020 alkaneen koronapandemian aikana kulttuuriperinnön äärelle on ollut hankalaa päästä erilaisten henkilömäärärajoitusten ja museoiden väliaikaisten sulkemisten vuoksi, jolloin tarve päästä museoiden kattavan tarjonnan äärelle kotoa käsin on entistä tärkeämpää. Museot tarjoavat ilmaista pääsyä 3D-mallinnettujen museoesinekokoelmien äärelle niin Suomessa kuin ulkomailla. Esimerkiksi British Museumin mallintamiin 3D-esineisiin voi tutustua ilmaisen Sketchfab-sivuston kautta (Sketchfab 2022b). Suomessa myös esimerkiksi Finna-sivuston (Finna 2022) ja useiden museoiden internetsivujen kautta on pääsy virtuaalisten esineiden luo, ja pääkaupunkiseudun kirjastoverkko Helmet listaa internetsivuillaan lukuisia suomalaisia ja ulkomaisia museoita, jotka esittelevät näyttelyitään verkossa (Helmet 2022). Suomalainen Digimuseo (Digimuseo.fi 2020) on hyvä esimerkki siitä, kuinka museot pyrkivät tarjoamaan kävijöilleen mahdollisuuden päästä tutustumaan museoiden näyttelyihin ja esineisiin, vaikka fyysiseen museoon ei olisi sillä hetkellä mahdollista päästä.

3D-mallintaminen auttaa turvaamaan museoesineiden pitkäaikaista säilymistä, ja ne mahdollistavat valtionrajojen ylittävän tutustumisen esineelliseen kulttuuriperintöön. Vaikka tutkimukseni käsittelee pääasiallisesti suhteellisen pieniä museoesineitä, 3D-mallintaminen auttaa myös kooltaan suuren kulttuuriperinnön tallentamisessa ja jopa rekonstruoinnissa. Aalto-yliopiston ja Paikkatietokeskuksen yhteistyöprojektissa on mallinnettu jo lähes sata merkittävää kulttuurikohdetta, jotka auttavat säilyttämään kulttuuriperintöä sen mahdollisesti tuhoutuessa (Aalto-yliopisto 2019). Kulttuuriperintökohteen tuhoutuessa 3D-mallintaminen mahdollistaa eräänlaisten varmuuskopioiden teon, minkä avulla kohteita tai esineitä voidaan korjata tai jäljentää. 3D-mallintamisen merkitys kulttuuriperintöalalla kasvaa näin ollen jatkuvasti, ja tätä silmällä pitäen Euroopan komission internetsivuilla esitellään vuonna 2020 valmistuneet yleiset ohjeistukset kulttuuriperinnön 3D-mallintamiseen (European Commission 2020). Parhaiden 3D-

mallintamismetodien ja -käytäntöjen tutkiminen kiinnostaa myös Suomessa (Debenjak-Ijäs 2020; Trafiikki-museot ry 2020, 2021).

Halusin selvittää, mitä erilaisia mahdollisuuksia arkeologisten museoesineiden 3D-mallintaminen voi tarjota kulttuurihistoriallisissa museoissa. Havaittiin aiheesta kirjoitettavan paljon ja 3D-mallintamisen olevan suosittua, mutta monet aiheesta käsittelevät tieteelliset julkaisut ratkoivat yhä uudelleen samat asiat, samalla todeten 3D-mallintamisen olevan varteenotettava keino museokentällä. Koin tämän vuoksi tarvetta tutkimukselle, joka esittelee erilaisia 3D-mallintamisprojekteja hyödyntäneitä museoita, kooten yhteen esimerkkejä siitä, mitä kulttuurihistoriallinen museo voi 3D-mallien avulla tehdä, samalla antaen konkreettisia esimerkkejä onnistumisista ja haasteista. Näin jokaisen museon ei välttämättä tarvitse itse keksiä mahdollisia 3D-tekniikan käyttökohteita, ja tutkimukseni aineisto antaa ideoita toteuttamiselle ja niiden eteenpäin kehittämiseksi. En yritä esitellä kaikkia tapoja hyödyntää 3D-mallintamista museoissa, vaan tarkastelen niin tavallisia kuin poikkeavampia toteutuksia, samalla etsien sovellettavia toteutusideoita, joita museot voivat hyödyntää. Pyrkimyksenäni on valottaa konkreettisilla esimerkeillä sitä lähes rajatonta mahdollisuutta, jota 3D-mallintaminen tarjoaa kulttuurihistoriallisille museoille. Samalla kuljetan mukana fyysisten museoesinekokoelmien ehdotonta tärkeyttä, muistuttaen kulttuuriperinnön 3D-mallintamisen tukevan fyysisiä museoesineitä niitä varjoo jättämättä.

Tässä tutkimuksessa selvitän, miten 3D-mallit tukevat ja edistävät museoiden tehtävää. Tarkastelen, miten 3D-mallintamista hyödyntäneissä projekteissa mallintamisen on koettu tukevan museolaissa määriteltyjä museon tehtäviä, ja mitä 3D-malleilla on haluttu saavuttaa, sekä millä 3D-mallintamisen tarvetta perustellaan. Käsittelem 3D-mallintamisen hyötyjä ja haasteita 3D-mallintamisprojektien kautta.

Tutkimukseni aineisto koostuu 17 tieteellisestä artikkelista, jotka käsittelevät kulttuurihistoriallisten museoiden esineiden 3D-mallinnusta, ja miten valmiita 3D-malleja on käytetty museoympäristössä tai tutkimuksessa. Vertailen aineistossa esiteltyjä projekteja ja tutkimuksia keskenään, ja selvitän niiden avulla minkälaiset 3D-mallintamista hyödyntävät toteutukset voivat olla kannattavia museoiden käytössä. Aineistosta etsimiäni teemoja olivat 3D-mallin autenttisuuden tavoittelu ja sen tärkeyden kokeminen projektissa tai tutkimuksessa, sekä projektin lopputuloksen museokäyttöön soveltuminen. Etsin aineistosta tavanomaisia ja usein käytettyjä tapoja tuoda 3D-mallintamista osaksi museoita, sekä kokeilevampia tapoja, joista näkyi 3D-mallintamisen monipuolisuus ja mahdollisuudet kulttuuriperintötyössä. Pyrin

löytämään artikkeleista onnistuneiden projektien esittelyjen lisäksi myös haasteita, vaikka niitä ei välttämättä kerrottu avoimesti, jos artikkelilla haluttiin mainostaa onnistunutta lopputulosta.

Työni koostuu kuudesta luvusta. Toisessa luvussa esittelen teoreettista viitekehystä, joka kattaa tutkimushistorian, museoiden roolin ja tehtävien lyhyen esittelyn, sekä yleisimpiä 3D-mallintamisen tapoja, joita kulttuurihistoriallisissa museoissa voidaan hyödyntää. Samassa luvussa määrittelen myös käyttämiäni keskeisiä käsitteitä. Kolmas luku kattaa koko aineiston esittelyn, missä kiteytän 3D-mallintavista käsittelevien tieteellisten artikkelien sisällöt tiiviiseen muotoon. Neljäs luku sisältää kuudessa alaluvussa aineiston analyysin, missä käsittelen aineistoa jakaen ne eri osa-alueisiin. Viidennessä luvussa keskustelen aineistosta tekemistäni havainnoista viitekehyksen ja kirjallisuuden kanssa. Kuudennessa luvussa tiivistän tutkielmani pääkohdat yhteen.

1.2 Käsitteiden määrittely

3D-malli on polygonien muodostamasta pinnasta tai pistepilvestä rakentuva digitaalinen kolmiulotteinen objekti, joka voidaan päällystää tekstuurilla. Se voidaan tuottaa fyysisestä kappaleesta esimerkiksi fotogrammetrialla tai luoda 3D-mallinsohjelmassa kokonaan ilman todellista vastinetta. (Remondino & El-Hakim 2006: 269; Debenjak-Ijäs 2020: 12.) **3D-digitointi** on kolmiulotteinen digitaalinen kopio, joka on toteutettu todellisesta esineestä tarkasti mittaamalla. 3D-digitointi rakentuu muiden 3D-mallien tavoin tekstuurien peittämästä polygonien muodostamasta pinnasta tai pistepilvestä. 3D-digitointi pyrkii olemaan tarkka malli fyysisestä esineestä, joskin se voi sisältää tulkintaa, sillä usein 3D-digitointeja joudutaan hieman muokkaamaan. (Debenjak-Ijäs 2020: 11.) Raja 3D-digitointien ja 3D-mallien välillä voi olla häilyvä, ja tästä syystä tulen käyttämään tässä tutkimuksessa pääasiassa termiä 3D-malli, sillä se sisältää myös 3D-digitoinnit.

Virtuaalitodellisuus eli VR (englanniksi *virtual reality*) sisältää visuaalisen kokemuksen keinotekoisessa ympäristössä. Virtuaalitodellisuus voi olla joko erillisellä näytöllä tai stereoskooppisella katselulaitteella, ja nämä saattavat sisältää myös ääntä esimerkiksi kuulokkeiden kautta. (Valentini 2012: 80.)

Lisätty todellisuus eli AR (englanniksi *augmented reality*) poikkeaa virtuaalitodellisuudesta siten, että se lisää todelliseen ympäristöön virtuaalista sisältöä. Lisätyn todellisuuden

toimivuuden kannalta olennaista on, että käyttäjän ja virtuaalisen sisällön sijainti on suhteessa todelliseen ympäristöön reaaliajassa. (Valentini 2012: 80.)

Autenttisuus on kulttuuriperintöalalla paljon käytetty termi, jolla voidaan tarkoittaa monia eri asioita. Lauri Viinikkala (2018: 40) käsittelee väitöskirjassaan kattavasti autenttisuuden käsitettä, painottaen sen määrittelyn olevan tärkeää termin käyttökelpoisuuden säilyttämiseksi. Viinikkala (2018: 41) puhuu tutkimuksessaan muun muassa historiallisesta autenttisuudesta, jolla tarkoitetaan asiaa, joka on itsessään vanha ja sen ikäinen, kuin sen oletetaan olevan. Hän mainitsee myös historiallisista elokuvista ja peleistä puhuttaessa käsitteen jakamisen autenttisuuteen ja tarkkuuteen, jossa autenttisuudella tarkoitetaan sitä, kuinka yleisö kokee menneisyyden esittämisen onnistuneen vastaamaan todentuntuisuutta.

Tässä tutkimuksessa autenttisuudesta puhuessani tarkoitan juuri 3D-mallin subjektiivista samankaltaisuutta verrattuna todellisuuteen ja historiallisesti autenttisiin museoesineisiin, jotka ovat tietyn ikäisiä esimerkkejä kulttuuristaan. Viinikkalan tavoin käytän autenttisuuden termiä puhuttaessa todentuntuisuudesta ja historiallisesta aitoudesta. Tutkimuksessani käsittelen museoesineitä historiallisesti autenttisinä muistoina menneisyydestä, tiedostaen esineiden konservoinnin, korjaamisen ja osien lisäämisen vaikuttavan esineen autenttisuuteen. Nämä seikat eivät kuitenkaan muuta esineen ikää tai alkuperää.

2 Teorettinen viitekehys

2.1 Tutkimushistoriaa

Aiempaa tutkimusta on tehty varsin runsaasti 3D-mallintamisesta kulttuuriperinnön säilyttämisen saralla varsinkin ulkomailla, mutta myös Suomessa. Mallintaminen on nykyaikaisilla tekniikoilla entistä nopeampaa, tarkempaa ja halvempaa. 3D-mallintamisesta museoalalla julkaistaan varsinkin Suomen ulkopuolella runsaasti tieteellisiä artikkeleita. Suunta on siis ehdottomasti positiivinen, ja se saattaa kannustaa museoita tarttumaan rohkeasti ja ennakkoluulottomasti 3D-mallinnuksien tekoon. Tieteellisten julkaisujen lisäksi 3D-mallintamalla tuotettua materiaalia näkyy luonnollisesti museoissa ja niiden internetsivuilla, ja usein museot myös jakavat 3D-mallejaan muun muassa Sketchfab-internetsivustolla (Sketchfab 2022a), jossa malleja pääsee tarkastelemaan kuka tahansa ja missä tahansa.

Suomessa mallintamisprojekteja on tehty jonkin verran, mutta harvasta on tehty tieteellistä julkaisua. Trafiikkimuseoiden kiinnostava ja mallintamiseen kannustavan 3D-hankkeen aikana mallinnettiin 30 museoesinettä eri museoista, ja hankkeesta tiedotettiin monipuolisesti Trafiikkimuseoiden internet-sivuilla (Trafiikki-museot ry 2021). Opetus- ja kulttuuriministeriö jakoi vuonna 2018 avustuksia 3D-digitointiin sekä digitaalisen kulttuuriperinnön saatavuuden parantamiseen (Opetus- ja kulttuuriministeriö 2018), joista esimerkkinä mainittakoon Lelumuseo Hevosenkentä (nykyinen museo Leikki) ja Suomen Kellomuseo, jotka toteuttivat museoiden kokoelmien 3D-luettelointiin ja 3D-mallinnettujen kokoelmien käyttöön liittyvän yhteishankkeen. Suomen merimuseo Merikeskus Vellamo julkaisi kuuden historiallisen laivahylyn 3D-mallit aluksista, jotka upposivat Ruotsinsalmen taisteluissa vuosina 1789 ja 1790 (Museovirasto 2020). Meriarkeologiaa ja 3D-mallintamista hyödyntävä projekti tuki näyttelyiden lisäksi myös arvokasta tutkimustyötä, jonka avulla hylyistä saatiin uutta tietoa (Museovirasto 2020). Kuten Trafiikkimuseoiden, museo Leikin ja Suomen Kellomuseon, myös Merikeskus Vellamon 3D-mallit löytyvät internetistä Sketchfab-palvelusta (Sketchfab 2022a).

Tiina Kivioja (2014) käsittelee pro gradu -tutkielmassaan monipuolisesti kyberarkeologisen museotyön haasteita ja mahdollisuuksia, käyttäen esimerkkinä *Keskisuomalaista elämää rautakaudella* -näyttelyn suunnitelmaa. Kivioja (2014: 7) tarkastelee sitä, kuinka helposti ja toimivasti mallintamista voi hyödyntää arkeologian popularisoinnissa. Hän törmäsi haasteisiin huomatessaan, että pelkät 3D-mallit itsessään eivät välttämättä herätä laajaa kiinnostusta museokävijässä, vaan museopedagoginen hyödynnettävyys vaatisi enemmän, kenties

toiminnalliseen kontekstiin sitomista (Kivioja 2014: 7). Kivioja esittelee runsaasti eri tapoja 3D-mallintaa arkeologista aineistoa, kattaen niin suuret maastokohteet ja kaivaukset, kuin pienet esineetkin (2014: 38–43), sekä listaa tapoja käyttää 3D-mallintamisen lopputuotteita näyttelyissä (Kivioja 2014: 50–57).

Tiia Suorsan (2017) pro gradu -työ *Digitoitu maito ei valu – digitaalisten ja aineellisten museoesineiden materiaalisuus, aika ja suhde museokävijään* käsittelee niin aineellisten kuin aineettomienkin, eli 3D-mallinnettujen ja digitoitujen esineiden suhdetta museokävijään. Suorsa (2017: 55) esittää opinnäytteessään osuvan ajatuksen, että digitaalisen esineen ulkonäkö ja olemus ovat tallennettuja kuvauspäivän ajankohtaan, jossa se pysyy niin kauan, kunnes se kenties kuvataan uudestaan. Näin ollen konkreettinen esine ja mallinnettu esine eivät välttämättä aina kuvaa toisiaan pidemmän ajan kuluessa.

Lauri Viinikkalan (2018) Suomen historian väitöskirja käsittelee yhdistetyn todellisuuden mahdollisuuksia menneisyyttä tulkitsevan tiedon esittämisessä. Viinikkala toteaa tutkimuksessaan osuvasti, kuinka menneisyyden esittämistä koskevat odotukset ovat kasvaneet, eivätkä kirjat ja perinteiset tekstuaaliset kuvaukset museonäyttelyissä enää riitäkään yleisölle (Viinikkala 2018: 15). Viinikkala (2018: 19) esittelee *Pyhän Hengen kirkko* -sovellusta, jossa kuvataan Turussa jo 1600-luvun puolivälissä puretun kirkon virtuaalista 3D-rekonstruktiota. Hän esittelee myös *Louhisaaren tarinat* -sovellusta, joka tutkimuksen valmistumisaikana on vielä ollut kokeiluvaiheessa. Sovelluksessa 3D-mallinnetut hahmot ja esineet asettuvat tabletin näytöllä oikeille kohdilleen reaaliaikaiseen kameran kuvaan; lisätyn todellisuuden sovellus siis toimii vain Louhisaaren tiloissa, kun taas Pyhän Hengen kirkon rekonstruktiota pystyy tarkastelemaan missä tahansa. Viinikkala (2018: 74) painottaa menneisyyden esitysten sisältävän sekä kertomuksen menneisyyden luonteesta että kertomuksen muutoksesta, niiden tuottaessa samalla uutta historiallista tietoa. Samalla hän muistuttaa myös historiallisen tiedon kyvystä määrittää autenttisuutta, digitaalistenkin lisäysten ollessa osa uudelleentulkinnan prosessia.

Turun Yliopiston arkeologian oppiaine ja Aboa Vetus Ars Nova -museo saivat Suomen opetus- ja kulttuuriministeriöltä rahoituksen opetus-, tutkimus- ja tiedotushankkeen toteuttamiseen, jossa 3D-digitoitiin arkeologisia kokoelmia, minkä tuloksena prosessista koostettiin avoimesti käytettävät ohjeet suomalaiselle kulttuuriperintökentälle (Debenjak-Ijäs 2020: 9). Hankkeen tuottamat kattavat ohjeet helpottavat 3D-mallintamisen parissa toimivia ja antavat vastauksia kysymyksiin, samalla toivottavasti rohkaisten yhä useampia eri tahoja opettelemaan 3D-

mallintamista. Julkaisu kannustaa tarttumaan 3D-digitoinnin maailmaan, vaikka myös ulkopuolisilta toimijoilta voi ostaa palveluita. Debenjak-Ijäs (2020: 29) muistuttaa kuitenkin, ettei 3D-digitointipalvelujen tuottajat välttämättä ole tietoisia siitä, kuinka arkeologisia löytöjä ja museoesineitä tulee käsitellä, tai mitkä ovat 3D-digitoitien metatietovaatimukset tieteellisessä käytössä.

Ulkomaisten museoalan 3D-mallintamista käsittelevien tieteellisten julkaisujen määrä on huomattavasti suurempi kuin suomalaisten vastaavien. Avoimia 3D-aineistoja löytyy runsain mitoin internetistä, mikä jo itsessään kertoo paljon innosta 3D-mallintamista kohtaan museokentällä. Useissa tutkimuksissa käsitellään 3D-esineiden mallintamisprosessia, ja samalla mallinnetaan yksi tai useampi esine (kts. esim. V. Evgenikou & A. Georgopoulos 2015; Counts et al. 2016).

Qatarin museon merenkulkua käsitteleviin kokoelmiin 3D-mallinnettiin 14 laivaa (Cooper et al. 2018). Artikkeliki käsittelee laajasti 3D-mallinnuksen hyviä ja huonoja puolia suurilla objekteilla mallinnettaessa. Tekstissä nousee esille myös huoli 3D-mallinnusten saavutettavuudesta ja mahdollisesta tiedostomuotojen vanhentumisesta tulevaisuudessa. Tämä tutkimus antaa hyvän esimerkin siitä, miten suuriakin kohteita voidaan mallintaa digitaalisesti. Vastaavaa työtä on tehty myös Suomessa, kun Ruotsinsalmen edustalla olevia laivahylkyjä tutkittiin haastavissa olosuhteissa meriarkeologisesti, ja ne 3D-mallinnettiin edistämään tutkimusta ja museotyötä (Museovirasto 2020). Tutkimuksessani keskitytään pääasiassa suhteellisen pienten esineiden 3D-mallintamiseen, mutta kuten yllä mainitaan, 3D-mallintaminen taipuu moneen, eivätkä suuret mittasuhteet välttämättä ole mahdottomia.

Kevin Garstki (2017) käsittelee uusien teknologioiden tuloa osaksi arkeologiaa ja museokenttää, ja kuinka ne haastavat vanhoja hyviksi todettuja metodeja. Garstki (2017: 745) toteaa kuinka uusia tekniikoita, kuten 3D-mallintamista, ei tulisi hyväksyä ja käyttää ilman tarkastelua siitä, miksi 3D-malleja ylipäätään tehdään, ja kuinka niitä voidaan hyödyntää nykyisyydessä ja tulevaisuudessa. Garstki (2017: 741) haluaa muistuttaa, ettei 3D-mallinnettu tai -digitoitu esine koskaan korvaa alkuperäistä esinettä, vaikka se voikin vastata esinettä. Hän nostaa myös esille tärkeän kysymyksen 3D-mallinnuksella luotujen digitaalisten artefaktien ja 3D-mallinnusmetodien tarkkuudesta, ja mikä tarkkuus määrittää sen, onko digitaalinen artefakti alkuperäisen artefaktin kopio vai ei (Garstki 2017: 741).

Călin Neamțu et al. (2016: 65) kehittivät metodologian, jonka avulla pystyy luomaan 3D-artefakteille yksityiskohtaisen ja jäljitettävän digitointiprosessin, joka on tärkeä osa tutkimus- ja museokäyttöä. Neamțu et al. (2016: 66, 70) esittelevät myös lyhyesti 3D-mallinnusprosessia, ja kertovat mihin tarkoitukseen mallinnusten lopputuloksia voi kenties hyödyntää. Tärkeänä käyttötarkoituksena esille nousi virtuaalisen artefaktin kanssa käyty vuorovaikutus, joka osallistaa museovieraita ja antaa uusia keinoja tutustua kulttuuriperintöön. Projektia varten 3D-mallinnettiin jopa 500 artefaktia, ja ne ovat nähtävillä avoimesti European ja Sketchfabin internetsivuilla (Neamțu et al. 2016: 66).

Myös Adam Metallo ja Vince Rossi (2011) käsittelevät lyhyesti 3D-mallintamistekniikoita, niiden mahdollisuuksia, sekä myös mallintamisen tulevaisuutta. He puoltavat ajatusta, että 3D-mallintaminen on kaikista kokonaisvaltaisista dokumentointimenetelmistä kolmiulotteiselle museoesineelle, vaikka 3D-mallit eivät koskaan tule korvaamaan alkuperäistä fyysistä esinettä (Metallo & Rossi 2011: 64). Jos alkuperäinen esine on esimerkiksi ryöstetty tai tuhoutunut ajan saatossa haurastuen, tai esineen käsittelyä tutkimusta varten olisi syytä välttää, 3D-malli saattaa olla paras, ellei jopa ainoa keino tutkia esinettä (Metallo & Rossi 2011: 64–65). Metallo ja Rossi (2011: 68) toteavat kokemuksensa perusteella jo museoiden internetsivujen hyvälaatuisten valokuvien tuovan museoihin lisää kävijöitä, ja he olettavat 3D-mallintamisen tekevän samaa. Metallon ja Rossin tutkimus julkaistiin vuonna 2011, ja jo silloin he ennustivat museoiden omaksuvan 3D-mallintamisen vahvasti ja tiedostivat sen tulevan muuttamaan museomaailmaa.

2.2 Museoiden roolista

Museoiden avulla yksilö ja yhteisö pystyvät löytämään ympärillään olevasta todellisuudesta ajan jälkiä, jotka auttavat yhdistämään menneisyyden ja nykyisyyden, ja samalla saamme vastauksia siihen, keitä olemme ja keitä muut ajallisesti tai kulttuurisesti kaukaiset ihmiset ovat tai ovat olleet (Vilkuna 2009: 17–18). Janne Vilkuna (2009: 18) muistuttaa ajan jälkien osoittavan myös jatkumoa, ja olevan näin ollen lupaus myös tulevaisuudesta. Vilkuna (2009: 18) toteaa muistin olevan kuoleman ja unohduksen vastavoima, jolloin museot pyrkivät tekemään ihmisistä edes hieman ajattomia, samalla kun niiden kokoelmat pyrkivät luomaan järjestystä ja turvallisuuden tunnetta sekavaan maailmaan. Museotoiminnan tarkoitus museolain mukaan on tallentaa ja säilyttää kulttuuri- ja luonnonperintöä, edistää ja hyödyntää aineistoja ja muita sisältöjä koskevaa tutkimusta, edistää aineistojen ja tiedon käytön

saatavuutta ja saavutettavuutta, esittää taidetta, kulttuuri- ja luonnonperintöä ja tarjota elämyksiä, sekä tehdä yleisötyötä, vuorovaikuttaa ja edistää opetusta ja kasvatusta (Museolaki 314/2019). Kansainvälinen museoneuvosto ICOM määrittelee museon seuraavasti:

”Museo on pysyvä, taloudellista hyötyä tavoittelematon, yhteiskuntaa ja sen kehitystä palveleva laitos, joka on avoinna yleisölle ja joka tutkimusta ja opetusta edistääkseen ja mielihyvää tuottaakseen hankkii, säilyttää, tutkii, käyttää tiedonvälitykseen ja pitää näytteillä aineellisia ja aineettomia todisteita ihmisestä ja hänen ympäristöstään” (Suomen Museoliitto 2022; ICOM 2022).

Kulttuuriperinnön säilymisen kannalta on tärkeää ymmärtää kulttuurisesti arvokkaiden esineiden ja kohteiden välisiä suhteita, eroja ja samankaltaisuuksia, sillä ne auttavat määrittämään niiden merkityksiä kulttuuriperinnön muodostumisessa ja säilymisessä (Yu & Hunter 2013: 1). Kulttuuriperinnölle merkittävien esineiden ja kohteiden arvon tietäminen varmistaa myös sen, että ne tulevat jatkossakin säilymään ja niiden säilyminen halutaan taata tuleville sukupolville (Yu & Hunter 2013: 1). Kulttuuriperintö on myös äärimmäisen tärkeää kansallisen ja ihmisen yksilöllisen identiteetin säilyttämisessä ja rakentamisessa (Cardaci & Versaci 2013: 155).

Tuomi-Nikulan et al. (2013: 14) mukaan kulttuuriperinnöksi katsotaan melkein mikä tahansa ilmiö, joka liittyy menneisyyteen. Kulttuuriperinnöllä viitataan menneisyyden aineellisiin ja aineettomiin ilmiöihin, joiden ihmiset katsovat heijastavan arvojaan, perinteitään, uskomuksiaan ja tapojaan, riippumatta lainkaan niiden omistuksesta; siihen siis kuuluu kaikki, mikä on seurausta ihmisten ja paikkojen vuorovaikutuksesta, jota on tapahtunut aikojen saatossa. Kulttuuriperintö voi olla merkittävää kansallisesti tai kansainvälisesti, mutta myös arkisemmin ja näin ollen yksityisemmin (Tuomi-Nikula et al. 2013: 15–16). Vaikka kulttuuriperintö voi sisältää melkein mitä vain, kaikki ei kuitenkaan ole heti automaattisesti kulttuuriperintöä. Kulttuuriperintö on olemassa vasta sitten, kun jokin aineellisen tai aineettoman kulttuurin muoto katsotaan säilyttämisen arvoiseksi, ja vasta tällöin jokin muuttuu kulttuuriperinnöksi (Tuomi-Nikula et al. 2013: 20; Vilkuna 2009: 15). Kulttuuriperintö ei pysy muuttumattomana, sillä se elää ja mukautuu aikakautensa mukana ja sen merkitys yhteiskunnalle muotoutuu erilaiseksi (Tuomi-Nikula et al. 2013: 20). Monet arkiset asiat kantavat sisällään vahvaa kulttuuriperinnöllistä lataamaa, jonka huomaa kenties vasta, kun havainnoija poistuu tavallisesta arkiympäristöstään.

Museoilla on suuri vastuu ja vaikutus siihen, mitä menneisyydestä muistamme, ja mitä nykyisyydestämme tullaan tulevaisuudessa muistamaan. Vilkunan (2009: 21) mukaan

muistamisen lisäksi unohtaminen on yhteisölle elintärkeää, sillä se auttaa yhteisöä pääsemään yli kipeistä asioista. Lisäksi muistaminen on muutenkin mitä suurimmissa määrin unohtamisprosessi, sillä kokoelmiin otettavat esineet valitaan muistettaviksi, ja ne, joita ei oteta osaksi kokoelmia, valitaan näin ollen unohdettaviksi (Vilkuna 2009: 21). Museot pitelevät siis käsissään valtaa, jonka avulla voidaan vaikuttaa siihen, mikä asia on tärkeää muistaa tulevaisuudessa, ja mikä saa painua unohduksiin. Museoiden kokoelmat karttuvat esineillä, joilla koetaan tallennushetkellä olevan merkitystä sekä mahdollista tai selkeää arvoa, ja ne halutaan säilyttää tulevaisuudelle (Kostet 2009: 144).

Museoesineen arvon määrittäminen on Kostetin (2009: 155) mukaan museologisesti määriteltävistä termeistä kenties vaikein ja peräti vaarallisin käsite. Hän painottaa, kuinka kokoelmien arvoa tulisi aina mitata kulttuurihistoriallisen tai historiallisen arvon kautta, eikä suinkaan rahallisen arvon kautta, vaikka esineellä sattuisikin olemaan sellainen (Kostet 2009: 155). Museokokoelmien arvon määrittävät tekijät vaihtelevat toki paljon eri maittain, eikä vain yhtä sovellettavaa tapaa ole. Joissain ulkomaisissa museoissa museokokoelmien esineitä ja kulttuuriperintöä arvotetaan rahallisesti, vaikka luultavasti niissäkin on eri tapoja arvottamiseen, jolloin rahallisen arvon mittaava arvottaminen ei toivottavasti ole ainoa tapa (Robbins 2017: 136). Suomalaisiin kulttuurihistoriallisiin museoihin rahallisen arvottamisen ideologiaa on kuitenkin vaikea kuvitella sovellettavan. Museoidemme kokoelmat ja yhteiskuntamme muisti koostuisi tällöin todella erilaisista asioista, kuin se nykyään koostuu.

Museokokoelmiemme arvon määrittämiseen vaikuttavat kokoelmien laajuus, kontekstitietojen määrä, edustavuus, sekä niiden kattavuus (Kostet 2009: 155). Kostet (2009: 154–155) toteaaakin rahallista arvoa tärkeämpänä olevan kokoelman kulttuurihistoriallisen arvon, sekä kokoelman merkitys aineellisen kulttuurin kuvaajana. Museoiden kokoelmat sisältävät valtavat määrät kulttuuriperintöesineitä, ja jo yksinään Euroopassa kokoelmat ovat kattaneet vuonna 2007 noin 26 miljardia esinettä, joista näyttelyissä ja käytössä on ollut arviolta vain 1–3 % (Pettersson 2007: 163 ja viitteet). Tänä päivänä määrä on luonnollisesti paljon suurempi, sillä kokoelmia kartutetaan jatkuvasti. Museoiden säilytystiloilla on kuitenkin rajansa, joten kaikkea kulttuurihistoriallisesti arvokasta ei voi tallentaa, eikä Petterssonin (2007: 163) mukaan tarvitsekaan. Museoilla on periaatteessa vapaus tehdä valintoja kokoelmiensa esineistön suhteen (Tuomi-Nikula et al. 2013: 21). Toki taltioimattomuudessakin on haasteensa, samoin kuin kokoelmista poistostakin; mitä jos esineelle olisi sittenkin tarvetta tulevaisuuden kulttuurintutkimuksessa?

2.3 Yleiset esineiden 3D-mallintamisen tekniikat

2.3.1 3D-mallintamisesta

Kulttuuriperinnön säilyttämiselle on kehitetty erinäisiä keinoja aina suojelusta museointiin, restaurointiin, rekonstruointiin ja dokumentointiin. Nykyään dokumentointiin soveltuvat keinot ovat lisääntyneet, ja laitteet, joilla kulttuuriperinnölle merkittävät kohteet ja esineet saadaan tallennettua kolmiulotteisessa muodossa parantuvat jatkuvasti. Lopputulokset ovat entistä tarkempia ja fotorealistisempia (Jiménez Fernández-Palacios & Remondino 2013: 85). Tallennettua dataa voidaan hyödyntää eri tarkoituksiin, kuten arkeologisiin tutkimuksiin, dokumentointiin ja arkkitehtuuristen rakenteiden analyysiin, konservointiin sekä esineiden virtuaalisten kopioiden säilyttämiseen. 3D-mallien avulla voidaan tuottaa virtuaalisia rekonstruktioita hävinneistä tai vaurioituneista kohteista tai esineistä (Jiménez Fernández-Palacios & Remondino 2013: 85). Teknologia mahdollistaa 3D-mallien käytön osana museoiden näyttelyitä, joihin voidaan luoda myös lisättyä todellisuutta tai mahdollistaa eri kohteisiin kolmiulotteinen virtuaalivierailu (Jiménez Fernández-Palacios & Remondino 2013: 85). 3D-mallit mahdollistavat vierailun kohteilla, jotka ovat kulttuuriperinnöllisesti arvokkaita, mutta liian huonossa kunnossa fyysistä vierailua varten; lisäksi virtuaalivierailu on mahdollista tehdä missä päin maailmaa tahansa (Jiménez Fernández-Palacios & Remondino 2013: 88). Seuraavassa esittelen hieman 3D-mallinnuksen historiaa, sekä yleisiä 3D-mallinnuksen keinoja, eli fotogrammetriaa ja laserkeilausta.

Nykyisin 3D-mallien luomiseen on kolme periaatteeltaan eroavaa menetelmää: kuvien sijaintiin perustuva mallinnus eli fotogrammetria, etäisyyden mittaukseen perustuva mallinnus ja manuaalinen mallinnus.

2.3.2 Fotogrammetria

Fotogrammetria tarkoittaa kuvista mittaamista ja se on tekniikkana tunnettu jo pitkään (Heiska 2009: 87). Ranskalaista Aimé Laussedet'ta pidetään menetelmän isänä; hän kehitti jo 1850-luvulla kuvista mittaamisen periaatteita ja 1860-luvulle tultaessa hän kartoitti Pariisia valokuvilla, joita hän oli ottanut talojen katoilta (Heiska 2009: 87). Tämän innoittamana syntyi varhainen ilmakartoittaminen (Heiska 2009: 87). Laussedet'in lisäksi samoihin aikoihin saksalainen Albert Meydenbauer teki tutkimuksia samaisen kentän äärellä. Meydenbauerin

fotogrammetrian kohteena olivat rakennukset, ja hänen johdollaan Berliiniin perustettiin valtiollinen instituutti, joka kuvasi fotogrammetrisesti Saksan historiallisia rakennuksia (Heiska 2009: 87). Meydenbauerin valokuvien avulla on ollut mahdollista korjata ja kokonaan rekonstruoida maailmansotien aiheuttamien tuhojen hävittämiä rakennuksia (Heiska 2009: 88).

Fotogrammetria on kuvaan pohjautuvaa mallintamista tai kuvantamista (englanniksi *image-based modelling*) (Voltolini et al. 2007: 187). Kulttuuriperinnön suojelulla ja tallentamisella on fotogrammetrian kanssa pitkä yhteinen taival, jonka aikana teknologia on kehittynyt suuria harppauksia eteenpäin. Mallintamisen periaatteet ovat kuitenkin yhä nykyään samat, kuin fotogrammetrian alkutaipaleella (Heiska 2009: 88), mutta nykyään kyseessä on digitaalinen fotogrammetria, joka perustuu automaattiseen laskentaan. Tekniikka sopii monenlaisille geometrisille pinnoille ja sen avulla voidaan saavuttaa yksityiskohtaista geometrista tarkkuutta (Voltolini et al. 207: 187). Fotogrammetrinen 3D-mallinnustekniikka ei kuitenkaan tämän hetken teknologialla kykene tallentamaan kaikkein pienimpiä muotoja ja syvyyksiä, jolloin kuvissa ilmenevät geometriset poikkeavuudet voivat vaikuttaa mallinnuksen fotorealismiin (Voltolini et al. 2007: 188–189).

Fotogrammetriassa otetaan useita, toistensa kanssa osittain päällekkäisiä kuvia halutusta kohteesta ja niiden etäisyydet lasketaan mallinnusohjelmassa automaattisesti, jolloin syntyy kolmiulotteinen malli objektista, rakennuksesta tai maisemasta (Mason 2013: 1). Kameran sijaintia (x-, y- ja z-koordinaatistossa) ja sen muuttamista hyödynnetään kolmiulotteisen mallin luomisessa (Mason 2013: 1). On olemassa paljon erilaisia, helppokäyttöisiä mallinnusohjelmia, joiden avulla voidaan mallintaa käsivaralla otettuja kuvia kolmiulotteiseksi malliksi, jolloin kalliita laitteita ei siis välttämättä tarvita lainkaan hankkia (Debenjak 2015: 26).

2.3.3 3D-mallintaminen laserkeilaamalla

Laserkeilaus on etäisyyteen pohjautuvaa mallintamista (englanniksi *range-based modelling*). Laserkeilaus tarkoittaa matalatehoisella laserilla kohteiden mittaamista (Heiska 2009: 90). Laite lähettää monogrammetrisia eli yksivärisiä valonsäteitä, ja mittaa kuinka kauan sen lähettämältä lasersäteeltä kestää palata takaisin laitteeseen mallinnettavalta pinnalta (Aaltoyliopisto 2019). Tästä syntyy kolmiulotteinen pistepilvi, joka muodostaa kuvatun kohteen pinnasta tarkan pintakartan (Heiska 2009: 90). Lasersäteen “jalanjälki” on suunnilleen ympyrän mallinen ja sen muoto vaihtelee skannauskulmasta ja kuvattavan kohteen muodoista (Baltsavias

1999: 87). Lopullinen pistepilvi yhdistetään useasta eri positiosta keilatuista pistepilvistä (Cardaci & Versaci 2013: 157). Lopullinen tulos on representaatio kohteesta 3D-muodossa, jossa kohteesta on otettu useita skannauksia eri suunnista, ja tällöin varjossa olevat kohdat ja pienetkin nurkat ja yksityiskohdat on saatu huomioitua (Cardaci & Versaci 2013: 157).

Laserskannaus voi olla tarkempaa kuin fotogrammetria, mutta tarkkuus vaihtelee käytettävän välineen laadusta (Voltolini et al. 2007: 188). Laserkeilauksella voidaan mitata tarkasti kohteen pinnan muoto, väri-informaatio sekä pinnan heijastavuuden intensiteettiä (Heiska 2009: 90). Useat laserskannerit ovat tarkoitettu suurempien etäisyyksien skannaamiseen, siis yli 10 metriin ja toiset taas alle 3 metriin (Voltolini et al. 2007: 188). Laitteen tarkkuus rajoittaa siis sitä, mitä sillä voidaan skannata ja miltä etäisyydeltä. Skannata voi niin pieniä esineitä kuin esimerkiksi maisemiakin (Heiska 2009: 88–89).

Nina Heiska (2009: 87) on tehnyt W. Böhlerin (2006) mittaustekniikoiden mukaan taulukon, jossa hän kuvaa etäisyyksiä, joista voidaan eri kolmiulotteisilla mittaustekniikoilla saada paras tulos. Maalaserkeilauksella ja lähifotogrammetriassa etäisyydet ovat suunnilleen samat, siis muutamasta senttimetristä noin 300 metriin. Heiskan artikkeli on kuitenkin kirjoitettu vuonna 2009, joten kenties etäisyydet eivät ole enää täysin samoja; ne ovat kuitenkin suuntaa antavia ja kertovat paljon fotogrammetrian ja laserkeilaamisen potentiaaleista ja mukautuvuudesta erilaisiin dokumentoimiskohteisiin.

2.3.4 3D-mallintaminen rakennevaloskannerilla

Fotogrammetrian ja laserkeilauksen lisäksi voidaan mallintaa rakennevaloskannerilla (englanniksi *structured light scanner*). Rakennevaloskanneri ei ole ilmeisesti vielä suomen kieleen vakiintunut termi, mutta se mainitaan muun muassa Annukka Debenjak-Ijäksen ja Nina Maarasen luuaineistojen 3D-digitointia käsittelevässä artikkelissa (Debenjak-Ijäs; Maaranen 2020). Se on kuitenkin suora käänös englannista, joten tässä tutkielmassa tulen käyttämään termiä rakennevaloskanneri.

Kun puhutaan 3D-mallintamisesta, on hyvä tarkentaa millä menetelmällä 3D-mallintaminen tai digitointi on toteutettu. Monesti käytetään termiä ”3D-skannaus”, mutta se ei itsessään avaa menetelmää sen tarkemmin, sillä se voi tarkoittaa laserkeilainta, rakennevaloskanneria ja jopa fotogrammetriaa, vaikka sillä usein tunnutaankin tarkoittavan juuri rakennevaloskanneria.

Rakennevaloskanneri projisoi säännöllisen kuvion kolmiulotteiselle pinnalle, ja laitteen yksi tai useampi kamera tallentavat kuvion vääristymisen kohteen pinnalla, jonka avulla laite laskee tästä kohteen geometrian. Luonnollisesti on parempi, jos kameroissa on korkea resoluutio, ja kameroiden täytyy myös pystyä tallentamaan värit hyvin. Näin lopullisesta 3D-digitoinnista saadaan mahdollisimman tarkka ja realistinen lopputulos (Pellicer 2018).

Rakennevaloskannerin huomattavat hyödyt esimerkiksi laserkeilaimeen ovat laitteen pieni koko ja keveys, sitä voi siis käyttää yhdellä kädellä ja kuljettaa helposti mukana, ja lisäksi se on myös laserkeilaamista nopeampi tapa tuottaa esineestä 3D-malli (Flynt 2020). Rakennevaloskannerin heikompiin puoliin käytettävyyttä ajatellen lukeutuvat siihen, että sillä ei voi mallintaa kovinkaan suuria objekteja, sillä skanneria on pystyttävä kuljettamaan mallinnettavan esineen joka puolelta. Lisäksi heijastavat pinnat sekä liian radikaalit varjot tai huonot valaistusolosuhteet haittaavat skannaamista ja vaikuttavat negatiivisesti mallin lopputulokseen (Flynt 2020).

2.3.5 3D-tulostaminen

3D-tulostimella saadaan tulostettua virtuaalisen 3D-mallin avulla halutun kokoisia kolmiulotteisia fyysisiä esineitä (Gebhardt et al. 2019: 2). 3D-tulostin rakentaa esineen kerros kerrokselta, yhdistäen vokseleita, eli kolmiulotteisia pikseleitä toisiinsa (Gebhardt et al. 2019: 2). 3D-tulostin pystyy tulostamaan useita erilaisia materiaaleja, kuten tyypillisimmin muovia ja jopa metallia (Gebhardt et al. 2019: 171). 3D-tulostaminen on ollut tekniikkana käytössä jo 1980-luvulta saakka teollisuudessa, mutta kuluttajien ulottuville se on tullut vasta vuonna 2009 (Wallach Kloski & Kloski 2016: ix). 3D-tulostaminen ei ole virheetön prosessi, ja varsinkin teknologiaan tutustuessa tulosteet epäonnistuvat esimerkiksi väärrien tulostuslämpötilojen vuoksi, tai tulosteet vaativat viimeistelyä käsityönä, kuten hiomista (Wallach Kloski & Kloski 2016: xiii). Tyypillisimmin kuluttajatasolla käytetään FDM-tulostinta, joka rakentaa 3D-mallia suuttimesta tulevan muovisäikeen avulla, sekä SLA-tulostinta, jossa UV-valo kovettaa matalassa astiassa olevaa muoviliuosta kerros kerrokselta (Wallach Kloski & Kloski 2016: 27, 60). Vuonna 2016 FDM-tulostimet kattoivat 90 % kuluttajien käyttämistä 3D-tulostimista, kun taas vaikeammin käytettävät SLA-tulostimet kattoivat vain 10 % käytöstä (Wallach Kloski & Kloski 2016: 59). Vaikka SLA-tulostimella saa tarkempaa jälkeä 3D-tulosteisiinsa, FDM-tulostin on turvallisempi ja huolettomampi käyttää, ja lisäksi sen käyttämä materiaali on

halvempaa (Wallach Kloski & Kloski 2016: 60–61, 63), minkä vuoksi se voi olla soveltuvampi museoiden tarpeisiin.

3 Aineiston esittely

Tässä luvussa esittelen tieteellisistä artikkeleista koostuvan aineiston, joka sisältää 17 projektia tai tutkimusta. Esittelen tiiviisti artikkeleissa kerrotut toimintatavat ja tavoitteet, ja vasta analyysiluvussa käsittelen tarkemmin projektien tai tutkimusten onnistumisia ja haasteita. Aineisto on vuosilta 2003–2020. Artikkeleissa esitellään erilaisia 3D-mallintamista hyödyntäneitä projekteja tai tutkimuksia, jotka ovat sopineet kulttuurihistoriallisten museoiden käyttöön niin näyttelyissä, yleisötyössä kuin tutkimuksessa ja kokoelmien parissa. Lähes jokaisen artikkelin hankkeessa tai projektissa on 3D-mallintamisen lisäksi yhdistävänä tekijänä myös arkeologinen esine tai esineistö, johon 3D-mallintaminen kohdistuu. Museoesineiden tyypillä, iällä, materiaalilla tai koolla ei ollut aineiston rajautumisen suhteen merkitystä. 3D-mallintamistapa ei myöskään vaikuttanut aineiston rajautumiseen, sillä mallintamistapa ei ollut tämän tutkimuksen aiheena.

Valitsin aineistoon projekteja ja tutkimuksia 17 vuoden aikaväliltä, mikä mahdollisti myös 3D-mallintamisen kehittymisen tarkastelun kahden vuosikymmenen aikana, sekä sen tarpeellisuuden muutosten ja mahdollisten trendien näkymisen havainnoinnin. Aineisto sisältää hyvin erilaisia projekteja ja tutkimuksia, osan ollessa toteutustavoiltaan yksinkertaisia, helposti toisinnettavia ja edullisia toteuttaa, sekä kalliimpia, haastavampia, ja mittakaavoiltaan suurempia 3D-mallintamisprojekteja, jotka vaativat vankkaa ammattitaitoa 3D-mallintamisesta ja mallien jälkikäsitteystä. Toisistaan poikkeavat projektit tarjoavat mahdollisuuden tarkastella aihetta monipuolisesti, ja ne antavat käsityksen eri tavoista, joilla 3D-mallintaminen saattaa tukea museoiden toimintaa. Aineiston avulla tarkastelen myös yleisiä haasteita, joita 3D-mallintamisen käyttö museoissa voi mukanaan tuoda.

Aineisto ei sisällä suomalaisia museoita, sillä aineistooni soveltuvia tieteellisiä artikkeleita ei juurikaan ollut. Suomessa toki tehdään sekä kokeilevia 3D-projekteja, että suoraan näyttelytyöhön soveltuvaa 3D-mallintamista, mutta tähän tutkimukseen soveltuvien tieteellisten artikkeleiden puute esti suomalaisten museoiden 3D-mallinnusprojektien käytön aineistona. Monet 3D-mallintamista tekevät suomalaiset museot eivät myöskään käsitelleet arkeologista aineistoa, mikä jo itsessään sulki monet museot tämän tutkimuksen aineiston ulkopuolelle. Vaikka kotimaisten museoiden avoimesti saatavia tieteellisiä artikkeleita vaikuttaa olevan tällä hetkellä niukasti, se ei kuitenkaan tarkoita sitä, etteivätkö museot tiedottaisi 3D-projekteistaan kattavasti ja museovieraita houkuttelevasti. Suomalaisten

museoiden 3D-mallintaminen ei siis ole lapsenkengissä verrattuna muiden maiden 3D-aineistoihin verrattuna, vaikka se ei aineistossa olekaan esillä.

Aineiston tarkoituksena ei ole valottaa sitä, missä maissa tai museoissa 3D-mallintaminen on laajalti hyödynnetty ilmiö, vaan pyrin antamaan mahdollisimman monipuolisia ja luoviakin esimerkkejä eri tavoista hyödyntää 3D-mallintamista museokentällä. Taulukkoon 1 on listattu aineisto kronologisessa järjestyksessä, 3D-mallintamistekniikka, sekä projektin pääasiallinen käyttötarkoitus. Seuraavaksi avaan jokaisen artikkelin sisältöä tavalla, josta käy ilmi kunkin projektin tai tutkimuksen pääpiirteet. Jokaisella aineiston projektilla tai tutkimuksella ei ole erikseen nimeä, jolloin käytän ainoastaan artikkelin nimeä.

Taulukko 1. Tutkimusaineisto.

Vuosi	Projekti tai artikkeli	3D-mallintamistekniikka	Projektin käyttötarkoitus
2003	The Augmented Representation of Cultural Objects, ARCO project	Fotogrammetria	Virtuaalinäyttely
2010	From 3D reconstruction to virtual reality: A complete methodology for digital archaeological exhibition	Laserskannaus	Virtuaalinäyttely, VR-teknologia
2011	MUS.INT (The MUS.INT. project)	Laserskannaus	Virtuaalinäyttely, interaktiivinen näyttely
2013	Etruscans in 3D	Fotogrammetria, laserskannaus	AR-teknologiaa näyttelyyn, tutkimus
2013	Documenting and Sharing Comparative Analyses of 3D Digital Museum Artifacts through Semantic Web Annotations	Laserskannaus	Esineiden luettelointi, kategorisointi

Vuosi	Projekti tai artikkeli	3D-mallintamistekniikka	Projektin käyttötarkoitus
2014	Touching the Untouchable: increasing access to archaeological artefacts by virtual handling.	Laserskannaus, 3D-tulostaminen	AR-teknologiaa ja 3D-tulostamista näyttelyyn
2015	(Im)material Artefacts	Fotogrammetria	Työpaja
2015	Touching an Ancient Stone: 3D Modeling and Augmented Reality Techniques for a Collection of Petroglyphs from State Hermitage Museum	Manuaalinen mallintaminen	VR-teknologiaa näyttelyyn
2016	3D-visualization for Virtual Museum Development	Fotogrammetria	Virtuaalimuseo
2017	Automatic Dimensional Characterisation of Pottery	Fotogrammetria	Esineiden luettelointi, kategorisointi
2018	Pottery Goes Public	Laserskannaus, rakennevaloskannaus, 3D-tulostaminen	Työpaja, 3D-tulostaminen
2018	Replicas in Cultural Heritage: 3D Printing and the Museum Experience.	Laserskannaus, 3D-tulostaminen	3D-tulostaminen näyttelyihin
2018	Structured-Light Based 3D Reconstruction System for Cultural Relic Packaging	Rakennevaloskannaus	Esineiden turvallinen kuljettaminen

Vuosi	Projekti tai artikkeli	3D-mallintamistekniikka	Projektin käyttötarkoitus
2019	Automating Photogrammetry for the 3D Digitisation of Small Artefact Collections	Fotogrammetria	Virtuaalimuseo
2019	Exploiting 3D Multispectral Texture for a Better Feature Identification for Cultural Heritage	Fotogrammetria	Tutkimus
2019	Timeless Museum	Fotogrammetria	Virtuaalimuseo
2020	Marcheology	Fotogrammetria	Virtuaalimuseo, 3D-esineiden kirjasto

1. The Augmented Representation of Cultural Objects, ARCO project (Patel et al. 2003)

The Centre for VLSI and computer graphics, University of Sussex, Akademia Ekonomiczna w Poznaniu; Commissariat a l'Energie Atomique; UKOLN, University of Bath; Giunti Gruppo Editoriale S.P.A.; The Sussex Archaeological Society; Victoria and Albert Museum.

ARCO-projektissa haluttiin luoda virtuaalinäyttelyitä museoista, joissa kävijä pääsi tutustumaan 3D-mallinnettuihin artefakteihin sekä museoissa että niiden ulkopuolella internetissä. ARCO-projektin tarkoituksena oli parantaa pääsyä kulttuuriperintöesineiden luokse hyödyntämällä teknologiaa. Projektissa museoesineet mallinnettiin fotogrammetrialla. 3D-mallintamisen ja virtuaalimuseoiden luomisessa pyrittiin kustannustehokkuuteen, jotta mahdollisimman moni museo pystyisi toteuttamaan omia virtuaalimuseoitaan projektissa esitellyin keinoin. 3D-mallit pystyttiin toteuttamaan tavallisella kameralla, joka auttoi pitämään toteutuksen hintaa alhaisempaan. Virtuaalimuseossa 3D-mallit sijoitettiin yksinkertaiseen näkymään, jossa artefakteja pääsi tutkimaan lähempää tietokoneen välityksellä.

2. From 3D reconstruction to virtual reality: A complete methodology for digital archaeological exhibition (Bruno et al. 2010)

Department of Mechanical Engineering, University of Calabria; Department of History, University of Calabria; Department of Archaeology and History of Arts, University of Calabria.

Calabrian yliopiston ja Herakles-nimisen kulttuurikeskuksen yhteistyöprojektissa haluttiin luoda matalalla budjetilla parempia keinoja kulttuuriperinnön 3D-mallintamiseen. Tällä haluttiin levittää arkeologista tietoa ja tehdä paikallisista ihmisistä tietoisempia omasta menneisyydestään. Projektissa kehitettiin tietokonejärjestelmä nimeltään MNEME, joka mahdollisti käyttäjän monipuolisemman vuorovaikutuksen museoesineiden kanssa, tuoden museoesineet näennäisesti ulos varastoista ja vitriineistä. MNEME oli museon tiloissa käytettävä virtuaaliodellisuus (VR), josta luotiin helposti kuljetettava, asennettava ja käytettävä. VR-järjestelmän avulla haluttiin myös mahdollistaa esineiden saavutettavuus, jolloin eri museoissa ja jopa eri maissa sijaitsevat museoesineet oli mahdollista nähdä samassa kontekstissa maantieteellisistä rajoista välittämättä. Parhaimmillaan sen katsottiin jopa mahdollistavan yhteisöille uuden kontaktin luomisen kulttuuriperintöesineisiin, jotka se on menettänyt aikoinaan toisten maiden tai alueiden omistukseen. Näitä esineitä ei välttämättä saada koskaan takaisin, mutta VR-teknologia voi mahdollistaa yhteyden säilymisen tai uudelleen muotoutumisen esineisiin.

Virtuaalimuseota varten aineisto 3D-mallinnettiin laserskannerilla, jonka jälkeen esineistä luotiin 3D-rekonstruktioita. Esineitä ei siis varsinaisesti digitoitu, sillä joihinkin lisättiin esimerkiksi puuttuvia osia. Kaikkiaan kokeiluvaiheessa esineitä mallinnettiin 25 kappaletta. Virtuaalimuseojärjestelmän haluttiin tarjoavan käyttäjälle mahdollisuuden tarkkailla esineitä vapaasti joka suunnasta. 3D-malleihin luotiin sopivat valaistukset aitouden tunteen lisäämiseksi. Myös videoiden, kuvien, musiikin ja 3D-animaatioiden avulla pyrittiin lisäämään aitouden tunnetta ja kiinnostavuutta. Näiden avulla arkeologiset löydöt sisällytettiin suurempaan kontekstiin, ja annettiin katsojalle historiallinen ja maantieteellinen konteksti. Käyttäjä sai virtuaalimuseosta myös halutessaan paljon tietoa, kuten esineiden muodosta, käyttötarkoituksesta, materiaaleista, kulttuurisista vaikutteista ja esineen konkreettisesta sijainnista museossa. MNEME-järjestelmää haluttiin myös sijoittaa museoiden ulkopuolelle turismin ja yleisen tietoisuuden lisäämiseksi. Järjestelmän koettiin houkuttelevan ihmisiä enemmän kulttuuriperinnön pariin.

3. MUS.INT (The MUS.INT. project) (Tucci et al. 2011)

GeCo, Geomatics & Communication for Cultural Heritage Laboratory, University of Florence.

Projektissa 3D-mallinnettiin laserskannaamalla pieni- ja keskikokoisia arkeologisia artefakteja virtuaalimuseonäyttelyitä ja interaktiivisia näyttelyitä varten, samalla kohtuullista budjettia silmällä pitäen. Projektissa haluttiin myös tuoda yhteen museoesineitä, jotka sijaitsivat fyysisesti eri museoissa ja jopa eri maissa. Lisäksi tilanpuutteen vuoksi varastossa pidetyt esineet oli mahdollista tuoda jälleen esille 3D-mallintamisen avulla. Projektissa 3D-mallinnettiin 40 kivistä tai keraamista artefaktia. Esineitä ei 3D-mallinnettu vain virtuaalimuseokäyttöä varten, vaan niiden toivottiin mahdollistavan monipuolisempaa ja tarkempaa tutkimusta arkeologeille ja konservattoreille, ilman että hauraat esineet vaurioituvat niiden liiallisesta käsittelystä. Mallinnettujen esineiden tuli olla mahdollisimman fotorealistisia, jotta ne soveltuivat sekä yleisökäyttöön että tutkimukseen. Projektissa otettiin huomioon 3D-mallien eri käyttötarkoitukset, jonka vuoksi malleista säilytettiin sekä korkearesoluutioiset, että yksinkertaistetummat mallit. Matalaresoluutioiset 3D-mallit soveltuivat paremmin pitkäaikaiseen säilytykseen niiden viedessä vähemmän säilytystilaa, kun taas korkearesoluutioiset soveltuivat parhaiten tutkimukseen.

4. Etruscans in 3D (Jiménez Fernández-Palacios & Remondino 2013)

3D OPTICAL METROLOGY Unit, Bruno Kessler Foundation, Trento.

Etruscans in 3D -projekti kohdistui UNESCO:n suojelemaan etruskien nekropoliin. Kohteen hautakammiot olivat hauraita ja niihin kulkua oli tämän vuoksi rajoitettu, osin jopa kokonaan kielletty. Projektissa haluttiin samalla sekä tutkia että tallentaa kulttuuriperintökohdetta ja turvata sen säilymistä, ja samalla haluttiin tarjota mahdollisuus vieraila kohteella virtuaalisesti vaurioittamatta hauraita hautakammioita. Virtuaalista sisältöä haluttiin hyödyntää museoissa myös VR- ja AR-teknologiana kanssa, sekä lisätä kulttuuriperintökohteen tunnettuutta ja informatiivisuutta.

Kohde ja museossa olevia esineitä dokumentoitiin laserskannerilla ja fotogrammetrialla. 3D-mallien tuli olla mahdollisimman fotorealistisia, sillä niitä haluttiin hyödyntää myös tutkimuksissa. 3D-aineisto mahdollisti lisäksi tarkkojen karttojen teon kohteesta. Museonäyttelyssä kävijöille haluttiin esitellä hautakammioita virtuaalisesti, jolloin oli

mahdollista näyttää miltä kammioiden yleisöltä kielletyt osat näyttivät. Museonäyttelyyn teetettiin myös laajoja panoraamakuvia luomaan tunnelmaa hautakammioista. Näyttelyssä käytetyt multimediat olivat käytössä kansainvälisesti useissa museonäyttelyissä, jolloin ihmiset eri puolilta maailmaa saivat virtuaalisen pääsyn etruskien hautakammioihin.

5. Documenting and Sharing Comparative Analyses of 3D Digital Museum Artifacts through Semantic Web Annotations (Yu & Hunter 2013)

Technology and Electrical Engineering, The University of Queensland.

Projektissa luotiin tietokoneohjelma nimeltään The 3D Semantic Association (3DSA), johon koottiin 3D-malleja museoesineistä. Sen avulla museoammattilaiset pystyivät kirjaamaan 3D-mallinnettujen esineiden tuntomerkkejä ja samankaltaisuuksia, jotka auttoivat muita museoita tutkimustyössä. 3DSA-järjestelmään tallennetut tiedot olivat sekä museoammattilaisten, opiskelijoiden ja yleisön tarkasteltavissa internetin välityksellä ilman että ainutlaatuisiin museoesineisiin täytyi koskea. Järjestelmän käyttäjien lisäämien kommenttien ja merkintöjen lisäksi 3DSA-järjestelmä pystyi tunnistamaan ja luomaan automaattisesti suhteita ja samankaltaisuuksia esineiden välillä, perustaen ne esineiden mitoille. Järjestelmä pystyi esimerkiksi luomaan kahdelle esineelle luokittelun, josta näki esineiden suhteet toisiinsa kokoon nähden.

Projektissa laserskannattiin University of Queensland RD Milns Antiquities Museum -museon kokoelmien kreikkalaisia keramiikka-astioita, joiden avulla 3DSA-järjestelmän toimintaa havainnollistettiin. Käyttäjä pystyi mittaamaan ja tunnistamaan järjestelmään kirjattujen esineiden tuntomerkkejä, ja etsimään järjestelmästä haluamiaan esineiden muotoja, kokoja tai kuvioita, jolloin järjestelmä näytti sinne tallennetut esineet, jotka täsmäsivät toivottuihin tuntomerkkeihin.

6. Touching the Untouchable: increasing access to archaeological artefacts by virtual handling (Dima et al. 2014)

University of Edinburgh; University of Exeter, Liverpool John Moore University; Science and Heritage programme.

Kansainvälinen monialainen projekti toteutettiin Iso-Britanniassa, ja sen tarkoituksena oli tuottaa innovatiivisesti kävijälle kokemus alkuperäisen artefaktin koskettamisesta, vaikka todellisuudessa artefakti pysyi täysin koskemattomana. Projektissa valmistuneet prototyypit sijoitettiin Kirkwallin Orkney Museum ja National Museum of Scotland -museoihin. Projektissa mallinnettiin laserskannerilla pieni mursunluusta valmistettu 1200-luvun shakkilaudan kuningatar. Artefakti kuuluu The National Museum of Scotland -museon kokoelmiin, shakkinappuloiden ollessa kenties koko museon tunnetuimmat esineet (National Museums Scotland 2021).

Projektissa toteutettiin kaksi prototyyppiä. Ensimmäisessä prototyypissä hyödynnettiin vanhaa visuaalista illuusiota nimeltään Pepper's Ghost, jossa esimerkiksi teatterin lavalla lasin avulla luotiin vaikutelma läpikuultavasta kummituksesta, joka oli todellisuudessa yleisön silmiltä piilossa oleva näyttelijä. Tässä projektissa kävijän silmää huijaavana lasina käytettiin jo olemassa olevaa vitriinilasiasia, joka suojaasi kuningatarta näyttelyssä. Illuusiota hyödynnettiin 3D-tulostamalla kuningatar, jonka jälkeen se maalattiin mustaksi, joka minimoi näin vitriinilasista näkyviä heijastuksia, jotka saattoivat haitata kävijän kokemusta. Musta nappula kiinnitettiin artefaktin sisältävän vitriinin ulkopuolelle niin, että 3D-tuloste sekä artefakti olivat yhtä kaukana vitriinilasista. Tämän jälkeen kävijän ja 3D-tulosteen välille asennettiin näköeste, jotta syntyvä illuusio olisi mahdollisimman vahva. Kun kävijä tunnusteli replikaa, hän näki omien käsiensä heijastukset vitriinin lasin kautta näennäisesti koskettamassa artefaktia. Kyseessä oli näin ollen yksinkertainen lisätty todellisuus, jossa ei skannaamisen ja 3D-tulostamisen jälkeen tarvittu digitaalista teknologiaa.

Toisessa prototyypissä hyödynnettiin haptista eli koskettamisen teknologiaa, ja kävijän kontakti artefaktiin syntyi haptisen teknologian välineen avulla. Vitriinin ulkopuolelle sijaitsevaan laitteeseen asennettiin laserskannerilla mallinnettu pistepilvi, ja laitteessa varrella kiinni oleva stylus reagoi pistepilveen, mukaillen artefaktin muotoja. Stylus pysähtyi sen koskettaessa näkymätöntä mallia, jolloin käyttäjä aisti koskevansa esineeseen, samalla nähden vitriinistä heijastuksena illusion styluksesta artefaktin pinnalla. Museokävijöiden mielipiteitä prototyyppien toimivuudesta ja kiinnostavuudesta kuunneltiin ja tallennettiin, jotta tulevaisuudessa epäkohtiin voitaisiin puuttua.

7. (Im)material Artefacts (Treadaway & Younan 2015)

Cardiff School of Art and Design; Cardiff Metropolitan University; National Museum Cardiff.

National Museum of Cardiff -museon kanssa yhteistyönä toteutettiin projekti nimeltään *(Im)material Artefacts*, jossa haluttiin lisätä luovaa vuorovaikutusta museoesineiden kanssa. Projektissa osallistettiin taiteilijoita, jotka saivat pääsyn museon 3D-aineistoihin, joiden pohjalta he saivat luoda niistä omia tulkintojaan digitaalisesti. Valmiit teokset 3D-tulostettiin ja esiteltiin museossa, ja ne olivat vapaasti nähtävillä myös internetissä 3D-malleina. Joidenkin osallistujien kohdalla luova työskentely toi muistoja lapsuudesta, ja kulttuuriperintöesine sai tämän seurauksena uusia merkityksiä. Projektissa tavoiteltiin oppimistulosten parantamista uudenlaisen tekemisen ja kokeilun avulla, tehostaen itseohjautuvaa oppimista. 3D-mallinnetun kulttuuriperinnön kanssa voi pystyä lisäämään käyttäjän kiinnostusta esitettyyn aiheeseen, museoihin ja ylipäätään kulttuuriperintöön.

Projektissa tiedostettiin kuitenkin se, kuinka vapaasti ladattavista 3D-malleista jotkut saattavat tuottaa esimerkiksi loukkaavia uudelleentulkintoja. Yleisesti ottaen vapaasti tarkasteltava ja ladattava digitaalisessa muodossa oleva kulttuuriperintö katsottiin positiiviseksi asiaksi, joka mahdollisti kulttuuriperinnön parempaa saavutettavuutta ja se antoi tilaa monipuolisemmille tulkinnoille. Projekti kannusti museoita lisäämään avoimen digitaalisessa muodossa olevan kulttuuriperinnön määrää, sillä se ei vaurioita tai vähennä alkuperäisten esineiden kulttuurista arvoa.

8. Touching an Ancient Stone: 3D Modeling and Augmented Reality Techniques for a Collection of Petroglyphs from State Hermitage Museum (Pikov et al. 2015)

Siberian Federal University; State Hermitage Museum.

Pietarin Eremitaasi-museossa 3D-mallinnettiin pronssikautisin kaiverruksin koristeltuja kiviä. Kiviesineiden tarkastelemisen koettiin olevan museossa haastavaa, sillä niistä ei välttämättä saanut tarpeeksi informaatiota. Myöskään valokuvien ei katsottu lisäävän tarvittavan informaation määrää, sillä kaiverrukset näkyivät kuvissa heikkoina. Kivistä otettiin korkealaatuiset valokuvat, joiden avulla saatiin luotua 3D-malleille tekstuuri. 3D-mallit mallinnettiin manuaalisesti, eli esimerkiksi fotogrammetriaa ei käytetty. Projektissa tiedostettiin museoympäristön erilaisuus suhteessa siihen, missä kivet olivat alun perin olleet.

3D-mallintamisen avulla pyrittiin luomaan ratkaisuja, joilla kävijät voivat kokea niiden alkuperäistä ympäristöä luonnonvalossa ja maisemassa. Ratkaisuksi projektissa ehdotettiin interaktiivista kokemusta esimerkiksi QR-koodien avulla, jolloin AR-teknologiaa hyödyntäen saatettiin tehdä kivikaiverruksista yleisölle kiinnostavampia.

9. 3D-visualization for Virtual Museum Development (Skamantzari & Georgopoulos 2016)

National Technical University of Athens, School of Rural and Survey Engineering, Lab of Photogrammetry.

Projektissa luotiin virtuaalimuseo, jonka toivottiin mahdollistavan jokaiselle esteetöntä ja helppoa pääsyä museokokoelmien pariin kotoa poistumatta. Virtuaalimuseoon valittiin useista eri näyttelyistä esineitä, jotka olivat peräisin samalta arkeologiselta kohteelta. Virtuaalimuseon esineet 3D-mallinnettiin fotogrammetrialla. Stoa of Attalos -virtuaalinäyttely rakennettiin peliteollisuudessa käytettävällä Unity 3D -alustalla, joka koettiin oivalliseksi alustaksi virtuaalimuseon luomiseen, vaikkakin sen käyttö osoittautui haastavaksi ilman peliohjelmoinnin ammattilaista. Virtuaalimuseossa käyttäjä pystyi navigoimaan kartan avulla ja kulkemaan museossa avatarhahmon muodossa. 3D-mallinnettuja esineitä oli mahdollista tutkia vapaasti eri suunnista esineitä liikuttelemalla.

10. Automatic Dimensional Characterisation of Pottery (Di Angelo et al. 2017)

Department of Industrial and Information Engineering, and of Economics, University of L'Aquila.

Tutkimuksessa kehitettiin automatisoitu metodi, jonka avulla keramiikka-artefaktien luokittelu onnistui paremmin ja helpommin. Projekti keskittyi keramiikkalöytöihin, sillä niiden katsottiin olevan tyypillisin löytöryhmä arkeologisilla kaivauksilla. Paljaalla silmällä oleellisten piirteiden erottaminen ei välttämättä onnistunut, joten tietokoneohjelma tunnisti piirteet ja ryhmitteli niitä keskenään, jolloin voitiin löytää vastaavuuksia toisiin artefakteihin. Keramiikan palojen 3D-mallit toteutettiin laserskannaamalla. Projektissa tietokoneohjelman todettiin olevan tehokkaampi ja rahaa sekä aikaa säästävämpi kuin perinteiset mittausmenetelmät.

Luokittelun ja suurten aineistomäärien käsittelyn lisäksi 3D-mallien avulla pystyttiin myös paremmin laskemaan keramiikka-astioiden alkuperäisiä mittoja, joka muun muassa helpotti mahdollisten rekonstruktioiden valmistamista.

11. Pottery Goes Public (Oggenhaffen et al. 2018)

Department of Archaeology, University of Amsterdam; Material Culture Studies & Archaeological Sciences, Faculty of Archaeology - University of Leiden.

Projektissa 3D-teknologian avulla yhdistettiin keramiikka-astioiden tutkimusta, yleisötyötä ja etnografista tutkimusta. Tavoitteena oli rikkoa akateemisen maailman sulkeutuneisuutta tuomalla halukasta yleisöä projektiin mukaan lisäten vuoropuhelua ja yhteistyötä. Projektin kohteeksi otettiin italialainen keramiikkatyyppejä, jota oli tulkittu kauan pelkästään typologisesti, ilman että valmistustekniikkaan oli kiinnitetty paljontaan huomiota. Projektissa tutkittiin sekä hyllystä nostettuja ehjiä astioita, että arkeologisilta kaivauksilta löydettyjä keramiikan kappaleita. Astioissa oli tyypillisesti leimoilla tehtyjä kuvioita, mutta leimasinten valmistusmateriaalia ei tiedetty. Näiden leimasinten jälkien avulla haluttiin tutkia keramiikanvalmistuksen sosiaalisia rakenteita ja käytäntöjä, jolloin pyrittiin selvittämään, olivatko keramiikka-artsaanit vastuussa koristelusta, vai viimeistelivätkö kokemattomimmat työntekijät ammattilaisten valmistamat astiat. Projektissa haluttiin myös tuoda esille tätä keramiikkatyyppejä, sillä sen edustajat harvoin pääsivät pois varastoista esille museonäyttelyihin.

Allard Pierson Museumin yleisölle haluttiin näyttää nykyaikaisia arkeologian menetelmiä, joten 3D-skannerilla mallintaminen ja 3D-tulostaminen valikoituivat tärkeiksi metodeiksi. Astioista mallinnettiin leimasinten jälkiä, joiden avulla pystyttiin tutkimaan jälkien eroavaisuuksia ja yhtäläisyyksiä tarkemmin kuin koskaan aikaisemmin. Näistä malleista tuotettiin myös 3D-tulostimella leimasimia yleisön työpajaa varten. Osallistujat saivat myös halutessaan viedä kotiin matkamuistoksi värikkäitä 3D-tulostettuja leimasimia.

Savipajassa museovieraat saivat kokeilla leimasinten käyttöä savelle, jonka ajateltiin lisäävän yhteyden tuntemista menneisyyden keramiikan valmistajiin. Työpajan oletettiin kiinnostavan pääasiassa vain lapsia, mutta sen suosio yllätti, sillä kaikenikäiset osallistuivat mielellään. Tämän ansioista oli mahdollista kokeilla etnografista tutkimusta, jossa osallistujien sukupuoli,

ikä, kokemus savenkäsittelystä ja kätsisyys kirjattiin ylös. Tällä tavalla pyrittiin tekemään hypoteeseja alkuperäisten saviastioiden leimasinkuvioiden tekijöiden taustoista.

12. Replicas in Cultural Heritage: 3D Printing and the Museum Experience (Ballarin et al. 2018)

Laboratorio di Fotogrammetria, Università Iuav di Venezia; Archaeological Museum of Massa Marittima.

GAMHER-hankkeeseen kuuluvassa projektissa mallinnettu artefakti oli kalkkikiven kappale, johon on paleoliittisella ajalla kaiverrettu tulkinnan mukaan ihmishahmo, jolla voi erottaa nenän, silmän, pitkät viikset, sekä suun ja parran. Lisäksi voi olla, että hahmolle on kaiverrettu myös hiuksia tai jonkinlaista päähinettä. Artefaktin toisella puolella on keskeneräisen näköinen toinen hahmo. Projektissa haluttiin tuoda museoesineitä näkövammaisten ulottuville, jolla pyrittiin tekemään museokäynnistä monipuolisempi ja esteettömämpi kokemus.

Projektia varten ei hankittu kallista 3D-tulostinta museon omistukseen, vaan sen sijaan tilattiin palvelu ulkopuoliselta toimijalta, joka tuotti laadukkaita 3D-objekteja. Artefaktin 3D-mallissa näkyviä kaiverrusuria syvennettiin ennen 3D-tulostamista, sillä ilman urien vahvistamista hentojen kuvioiden tunnustelu oli haastavaa, eivätkä ne tarjonneet riittävästi informaatiota käsin kosketeltaessa. Samalla teetettiin myös kopioita, joissa ei ollut syvennettyjä uria. Kopion täytyi luonnollisesti olla alkuperäisen artefaktin näköinen, jotta siitä välittyi mahdollisimman paljon tietoa sitä tarkastelevalle taholle. Artefaktista teetettiin useilla eri 3D-tulostimilla ja tulostusmateriaaleilla versioita, joista valikoitiin käyttötarkoitukseen sopivimmat ja alkuperäistä artefaktia vastaavimmat 3D-tulostetut objektit.

13. Structured-Light Based 3D Reconstruction System for Cultural Relic Packaging (Song et al. 2018)

Key Laboratory of Advanced Electrical Engineering and Energy Technology, Tianjin Polytechnic University; School of Mechanical Engineering, Tianjin University of Technology and Education; School of Electrical, Computer and Tele communications Engineering, University of Wollongong; China packaging & Test Center.

3D-mallintamista haluttiin hyödyntää paremmin ja kustannustehokkaammin kulttuuriperintöesineiden kuljettamisessa ja pakkaamisessa. Tätä varten kehitettiin rakennevaloskannaukseen perustuva järjestelmä, joka sopii muun muassa matalien kustannusten vuoksi kulttuuriperintöalalle. Projektissa esitellyn tekniikan avulla pystyttiin valmistamaan kulttuuriperintöesineille täydellisesti sopivia kuljetuslaatikoita, jotka suojasivat esineitä. Projektissa menetelmää kokeiltiin terrakottasotilaan kanssa, jonka pää ja vartalo irrotettiin kuljetusta varten toisistaan, ja näin varmistettiin esineen ehjänä pysyminen. Lisäksi samat 3D-mallit sopivat myös mainiosti täydentämään museoiden näyttelyitä.

14. Automating Photogrammetry for the 3D Digitisation of Small Artefact Collections (Marshall et al. 2019)

Factum Arte, Factum Foundation, Madrid; Loughborough Design School, Loughborough University.

Projektissa kehitettiin tapa luoda todella tarkkoja 3D-malleja yhdistämällä kamera ja skanneri siten, että kamerasijainnit mallinnettavaan esineeseen välittyivät skannerille, jolloin saatiin tarkkoja lopputuloksia, ja samalla minimoitiin inhimilliset virheet kuvien ja skannausten yhdistämisessä. Projektissa 3D-tulostettiin mallinnettuja esineitä, ja niitä verrattiin alkuperäiseen museoesineeseen. Tarkkuuden oltua riittävä, todettiin että 3D-mallintamalla ja -tulostamalla sai luotua tarkkoja kopioita museoiden käyttöön. Projektissa käytössä olleella 3D-tulostimella ei kuitenkaan pystytty tulostamaan suuria kopioita, mutta pienten esineiden rekonstruktiot onnistuivat. 3D-tulostamalla saattoi myös luoda rekonstruktioita museoesineen puuttuvasta osasta, jolloin esine saatiin täydennettyä.

15. Exploiting 3D Multispectral Texture for a Better Feature Identification for Cultural Heritage (Mathys et al. 2019)

Royal Museum of Central Africa, Tervueren; Royal Belgian Institute of Natural Sciences, University of Liège.

Tutkimuksessa 3D-mallinnettiin fotogrammetrialla norsunluinen afrikkalainen torvi, jonka pinnassa oli kaiveruksia koristeena, sekä paleoliittinen sarven kappale, johon oli kaiverrettu

eläinkuvio. Torven kuvioinnit eivät kuitenkaan näkyneet paljaalle silmälle tarpeeksi selvästi, sillä ne olivat punaruskean väriaineen peitossa, ja 3D-mallintamisen avulla pyrittiin saamaan paremmin selvää kuvioista. Projektissa hyödynnettiin 3D-mallin lisäksi multispektristä kuvantamista, joka tarkoitti ultravioletin valon, näkyvän valon taajuuksien ja lähi-infrapunan hyödyntämistä siten, että kuvat tulivat entistä selvemmin tulkittaviksi.

Molemmissa artefakteissa oli piirteitä, joiden tutkiminen olisi vaatinut paljon esineiden käsittelyä, mikä olisi ollut riski niiden säilymiselle jo valmiiksi hyvin hauraista esineistä puhuttaessa. Mallintamisen avulla esineiden tutkiminen helpottui ilman, että niihin piti koskea fyysisesti, ja 3D-malli toimi myös varmuuskopiona esineestä. Projektin lopputulosten katsottiin hyödyttävän sekä tutkimusta että konservattoreita, mikä mahdollisti myös esineen tutkimisen etäisyyksistä ja valtioiden rajoista välittämättä.

16. Timeless Museum (Aiello et al. 2019)

Department of Civil Engineering and Architecture, University of Catania; Carleton Immersive Media Studio (CIMS), Carleton University, Ottawa; R3D Lab of the Museo della Rappresentazione of University of Catania.

Projektissa virtuaalimuseon prototyypissä tuotiin yhteen museoesineitä eri puolilta maailmaa valtioiden rajoja ylittäen. 3D-malleja virtuaalimuseota varten ladattiin internetistä vapaassa käytössä olleita malleja, muun muassa British Museumin 3D-malleja, jotka oli luotu fotogrammetrian avulla. Virtuaalinäyttely sijaitsi konkreettisesti Italiassa Museo della Rappresentazione -museossa. Virtuaalimuseo toteutettiin Unreal Engine -ohjelmistolla, ja sen ympäristössä panostettiin suuresti sen ulkonäköön, aitouden tunteeseen ja mielikuvituksellisuuteen, jolloin esimerkiksi antiikin patsaat eivät sijainneet näennäisesti neljän seinän sisällä. Myös virtuaalimuseon äänimaailma oli tarkoin harkittu. Näyttelyn teeman mukaan käyttäjä saattoi kuulla aallokon ääniä, tai kenties vain harkittua arvokasta hiljaisuutta. Virtuaalimuseoon lisättiin myös dystopinen maailma, jossa pystyi näkemään tunnettuja ihmisen rakentamia maamerkkejä tuhon jälkeisessä maailmassa. *Timeless Museum* -virtuaalimuseossa oli nähtävillä pääasiassa ihmiskunnan tunnettua menneisyyttä, kattaen muun muassa Egyptin, Kreikan ja Rooman historiallisia esineitä. Projektin tavoitteena oli tehdä virtuaalimuseon maailmasta kiinnostava, jännittävä ja opetuksellinen. *Timeless Museum* pyrki myös näyttämään ihmisille maailman ihmeitä ilman matkustuksen välttämättömyyttä.

17. **Marcheology (Quattrini et al. 2020)**

*Universita Politecnica delle Marche Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura;
Universita Politecnica delle Marche Dipartimento di Ingegneria dell 'Informazione.*

Projekti toteutettiin verkkoalustana ja mobiilisovelluksena, joka nimettiin Italian Marchen alueen mukaan. Alueella sijaitsee runsaasti arkeologisia kulttuuriperintökohteita, joiden tunnettuutta ja turismia haluttiin lisätä. Mobiilisovelluksen ja internetsivujen tarkoitus oli myös helpottaa matkasuunnittelua Marcheen. *Marcheology*-projektissa toteutettiin muun muassa aluetta esittelevä virtuaalierros, selkeitä karttoja, 360°-video ja 3D-artefakteja esittelevä digitaalinen kirjasto. 3D-mallit luotiin fotogrammetrialla, ja eri museoissa sijaitsevien kosketusnäyttöjen avulla kirjaston sisältöön pääsi tutustumaan monipuolisesti. Projektiin kuului myös vuoden mittainen käyttäjädatan tutkimus, jonka avulla selvitettiin muun muassa käyttäjien tyytyväisyyttä ja mobiilisovelluksen sekä verkkosivuston suosioita.

4 Aineiston analyysi

4.1 3D-mallien käyttömahdollisuuksia

Tutkimukseni aineistona on 3D-mallintamista hyödyntäviä projekteja ja tutkimuksia, joita on toteutettu museoesineiden kanssa ja museoympäristöissä. Vaikka aineiston projektit sisältävät hyödyllistä informaatiota ja hyödynnettäviä ideoita museoihin, on otettava huomioon, kuinka projekteista kertovat artikkelit toimivat usein mainoksen kaltaisina esimerkkeinä onnistuneesta projektista. Kaikkia haasteita ei kenties ole kirjoitettu lyhyeen esittelevään artikkeliin, mikä voi vääristää kuvaa projektien helppoudesta ja onnistumisesta. Epäonnistuneista projekteista ei välttämättä myöskään tehdä artikkeleita, mikä omalta osaltaan voi olla vääristävä tekijä. Artikkelit auttavat hahmottamaan 3D-mallintamisen käyttämisen sisältäviä hyötyjä ja haasteita museoissa, mutta ne eivät ole ainoita oikeita ratkaisuja museoiden käyttöön.

Käsittelen aineistoa viidessä alaluvussa, joista jokainen muodostaa yhden kategorian. Osa aineiston projekteista ja tutkimuksista asettuvat useampien kategorioiden alle sisältäen monipuolisia osa-alueita. Kategoriat ovat:

- virtuaalitodellisuus, lisätty todellisuus, virtuaalimuseot
- 3D-tulostaminen ja haptinen teknologia
- 3D-mallit työpajoissa
- 3D-mallit kokoelmienhallinnan ja -hoidon tukena
- 3D-mallit esinetutkimuksessa

Näiden kategorioiden avulla en yritä kattaa kaikkia museoiden toiminnan osa-alueita, mutta haluan valottaa 3D-teknologian mahdollisuuksia, hyötyjä ja haasteita museokentällä.

4.2 Virtuaalimuseot, lisätty todellisuus ja virtuaalitodellisuus

Virtuaalimuseot, lisätty todellisuus (AR) ja virtuaalitodellisuus (VR) ovat tehokkaita keinoja lisätä museoiden kiinnostavuutta, ja ne saattavat hyvin toteutettuina houkuttaa museoihin lisää kävijöitä ja tuoda museoille lisää tuloja. Kulttuuriperintöorganisaatioiden kannattaakin

panostaa näihin, sillä ne voivat parantaa kävijän museokokemusta, lisäten mahdollisuutta sille, että kävijä uusii vierailunsa (Hyungshoo & tom Dieck 2017: 146, 148). Museokävijöiden todennäköisyyttä vierailta museoissa pystyy lisäämään tarjoamalla kävijälleen jo ennen museokäyntiä virtuaalitodellisuutta (Hyungshoo & tom Dieck 2017: 145). Realistisemmin tämän voi toteuttaa tarjoamalla virtuaalimuseokäyntiä ja lisättyä todellisuutta kotitietokoneen tai älylaitteen välityksellä. Museokävijät todennäköisesti tutustuvat museon tarjoamiin verkkomateriaaleihin ennen vierailua saadakseen alustavaa tietoa, ja vierailun jälkeen syventävät tietoaan, eivätkä niinkään museovierailun aikana (Quattrini et al. 2020: 6).

Museot ovat pyrkineet jo kauan lisäämään virtuaalimuseoita tarjontaansa, kuten vuosien 2001–2003 aikana toiminut kolmivuotinen projekti *The Augmented Representation of Cultural Objects* eli *ARCO* osoittaa. Projektin tehtävänä oli kehittää teknologioita, jotka tukivat pääsyä valtavien museokokoelmien äärelle, joista suurin osa on kokoelmien uumenissa, eivätkä museonäyttelyissä (Patel et al. 2003: 2). *ARCO*-projektin päivistä 3D-mallien ulkonäkö, realistinen vaikutelma mukaan lukien, ovat parantuneet huomattavasti, mutta projekti kertoo paljon siitä, kuinka jo varsin kauan on haluttu tuottaa monipuolista pääsyä kokoelmien pariin, niin museosta kuin esimerkiksi kotisohvalta käsin. Myös autenttisuuden tavoittelu 3D-sisällössä, kuten virtuaalimuseoissa, tuntuu pysyneen tärkeänä piirteenä tähän päivään saakka. *ARCO*-projektin aikoina 3D-mallit olivat harvinaisuus useimpien museoiden internetsivuilla, ja esineistä tarjottiin katsaus vain 2D-muodossa, jolloin lopputulos oli kuin esinekatologi (Patel et al. 2003: 2). *ARCO*-projektissa museot saattoivat myös hyödyntää jo valmiita 3D-malleja, sekä esimerkiksi kuvia ja videoita, jotka yhdistettiin *ARCO*:n avulla toimivaksi kokonaisuudeksi, jonka avulla museot pääsivät liikkeelle virtuaalimuseoiden teon kanssa (Patel et al. 2003: 3).

Vuonna 2003 halpojen ja laadukkaiden 3D-mallien luominen ei ollut yhtä helppoa ja saavutettavaa kuin nykyään. Pientenkin museoiden on nykyään mahdollista tarttua toimeen ja tuottaa internetsivuilleen kiinnostavaa ja monipuolista materiaalia vierailijoille, ja internetissä on paljon ilmaisia 3D-malleja, joita voi vapaasti hyödyntää. *ARCO*-projektissa museoille haluttiin tarjota mahdollisimman helppoja ratkaisuja 3D-mallien ja virtuaalimuseoiden tekoon. Mallien luomisen haluttiin onnistuvan myös museohenkilökunnalta, jolla ei ollut aiempaa kokemusta 3D-mallintamisesta, ja ajankäytön tehostamiseksi mallien luomisen tuli olla mahdollisimman nopeaa ja automatisoitua (Patel et al. 2003: 4). *ARCO*-projektin tarjoamalla järjestelmillä käyttäjä saattoi esimerkiksi tutustua valmiiseen virtuaalimuseoon tai itse vaikuttaa virtuaalimuseossa oleviin esineisiin (Patel et al. 2003: 5–6).

Hieman tuoreemmassa projektissa tavoiteltiin myös vastaavaa, kun Calabrian yliopiston ja Herakles-nimisen kulttuurikeskuksen yhteistyöprojektissa luotiin matalan budjetin ratkaisuja virtuaalimuseon rakentamiseen, joten tavoitteena oli mahdollistaa myös pienempien museoiden tarttuminen virtuaalimuseoiden käyttämiseen (Bruno et al. 2010: 43). Projektissa oli tavoitteena myös tehdä ihmisiä tietoisemmiksi omista historiallisista taustoistaan ja levittää kokoelmia laajemmalle yleisölle projektissa kehitetyn MNEME-nimisen virtuaalimuseojärjestelmän avulla (Bruno et al. 2010: 43). Virtuaalimuseoissa luomisen helppous tuntuu olevan yhä avainasemassa, minkä avulla museot saattavat tarttua innokkaammin virtuaalisen materiaalin luomiseen. Vaikka projektissa painotettiin pientä budjettia virtuaalimuseojärjestelmän asentamisessa, kyse oli kuitenkin lähes 15000 eurosta, joka on monelle museolle suuri investointi, eikä virtuaalimuseon riittävästä vetovoimaisuudesta museoissa voida olla täysin varmoja.

Vaikka 2000-luvun alun *ARCO*-projektin avulla toteutetut virtuaalimuseonäyttelyt eivät kenties olisi nykyajan käyttäjän mielestä kovinkaan vaikuttavia, projektin tuottamat mahdollisimman helppokäyttöiset ratkaisut virtuaalimuseoiden tekoon olivat kannustavia, ja vastasivat kenties sitä, mitä vajaa 20 vuotta sitten 3D-museoilta sopi odottaakin. Nykyään on mahdollista tehdä taidokkaita virtuaalimuseoita ja -ympäristöjä, jotka nostavat mallinnetut museoesineet oikeuksiinsa ja tuovat ne virtuaalisesti pois museoiden varastoista. Vaikka museoilla on mahdollisuus toteuttaa 3D-ympäristöjä laadukkailla peliteollisuudessa käytettävillä pelimoottoreilla, kuten Unreal Enginella ja Unitylla (Epic Games 2022; Unity Technologies 2022), ei se tietenkään tarkoita, että lopputulos olisi toivotunlainen, saati autenttisen vaikutelman antava. Stoa of Attalos -nimistä virtuaalimuseota varten 3D-mallinnettiin suuren, samannimisen kreikkalaisen museon esineistöä. Virtuaalinäyttelyä varten 3D-mallinnetut museoesineet eivät olleet korkearesoluutioisia, jolloin vältettiin suurta tiedostokokoa ja mallien siirtäminen ja käyttö virtuaalimuseossa oli helpompaa (Skamantzari & Georgopoulos 2016: 965). Tästä huolimatta 3D-objektit olivat laadukkaan näköisiä, ja vaikuttivat sopivan virtuaalimuseoympäristöissä käytettäviksi. Stoa of Attalos -museon virtuaalimuseon tekoprosessia kuvattiin haastavaksi Unity-pelimoottoria käytettäessä, ja tekijöiden mukaan kokenut ohjelmoija tai pelisuunnittelija pystyisi luomaan virtuaalimuseosta käyttäjäystävällisemmän, toimivamman, vuorovaikutuksellisemmän ja houkuttelevamman, kuin mitä projektissa saatiin aikaan (Skamantzari & Georgopoulos 2016: 966, 967). Lopputulos ei siis tekijöidenkään mielestä ollut riittävä, vaikka ehdotonta potentiaalia pelimoottorilla olisikin virtuaalimuseoita luotaessa. Stoa of Attalos -museon 3D-malleilla olisi silti ollut

mahdollisuuksia yksinkertaisemman ja helpommin toteutettavan virtuaalimuseon toteuttamiseen.

ARCO-projektin tavoin *Stoa of Attalos* -virtuaalimuseon lopputulos ei kyennyt takaamaan todenmukaisen maailman tunnelmaa. Ensimmäisessä projektissa syy tuntui olevan pääasiassa teknologian kehitysvaiheessa, toisessa liian suuren tavoitteen asettamisessa. *ARCO*-projektin alkuvaiheessa tekijöiden tekemät valinnat 3D-mallin luomisen aikana vaikuttivat lopputuloksen tarkkuuteen, minkä vuoksi järjestelmää haluttiin automatisoida enemmän (Patel et al. 2003: 4). Nykyään aivan samalla tavalla 3D-mallintamiskaluston laatu ja käyttäjien tekemät valinnat sekä taidot vaikuttavat lopullisen 3D-mallin tai esimerkiksi virtuaalimuseon ympäristöön. Teknologiassa tapahtuneet edistymiset eivät näin ollen takaa museoiden 3D-sisällön laadukkuutta ja nykyaikaisuutta. Tarkkojen ja hyvin suunniteltujen tavoitteiden asettaminen on avainasemassa toivotun lopputuloksen saavuttamisessa.

Virtuaalimuseot voivat tuoda museoita ja niiden kokoelmia kansainvälisten yleisöjen saataville, jos ne ovat nähtävissä internetissä. Museoissa konkreettisesti sijaitessaan ne antavat museovieraille pääsyn toisten museoiden kokoelmien äärelle, ja tällöin ne voivat sisältää monipuolisempaa teknologiaa, kuten VR-laseja, kuin pelkästään internetissä olevat virtuaalimuseot. *Timeless Museum* -projektissa Museo della Rappresentazione -museossa konkreettisesti sijaitseva virtuaalimuseo toi yhteen ihmiskunnan menneisyydestä merkittävimmiksi katsottuja ajanjaksoja ja kuuluisia esineitä sekä veistoksia, ja se johdatti kävijänsä myös dystopisen tulevaisuuden pariin (Aiello et al. 2019: 33, 34). *Timeless Museum* -projektissa käytettiin jo yllä mainittua Unreal Engine -pelimoottoria sekä VR-laseja (Aiello et al. 2019: 37, 38), ja virtuaalimuseon ympäristö oli taidokkaasti, kiinnostavasti ja luovasti toteutettu. Esimerkiksi kreikkalaista ja roomalaista menneisyyttä esittelevissä osioissa virtuaaliympäristöön oli tuotu mukaan realistisen näköisiä vesielementtejä, jotka yhdistelivät myyttejä ja historiaa. Myös äänimaailmalla ja jopa sen puutteella luotiin haluttuja tunnelmia ja äänimaisemia kävijää varten (Aiello et al. 2019: 35). *Timeless Museum* -projektin sekä *Stoa of Attalos* museon virtuaalinäyttelyt antavat realistista kuvaa siitä, kuinka erilaisia lopputuloksia samankaltaisilla pelimoottoreilla ja tietokoneohjelmilla voi saada aikaan, vaikka ne tavoittelevatkin samoja tarkoituksia. *Timeless Museum* -projektin lopputulos oli laadukas, mutta projektia esittelevässä artikkelissa ei mainittu, oliko taidokkaasti toteutetun virtuaalimuseon tekoon palkattu ammattilainen, kun taas *Stoa of Attalos* -museon projektissa oltiin avoimia siitä, kuinka virtuaalimuseon tekijöille pelimoottorin käyttäminen oli uutta. 3D-mallintamisen tai virtuaalimuseon teon ulkoistaminen voi lisätä kustannuksia huomattavasti,

jolloin virtuaalimuseon toteuttaminen ei ole monelle museolle mahdollista tai taloudellisesti kannattavaa.

Timeless Museum -projektissa toteutuksesta saatiin luultavasti kustannustehokkaampi siten, että virtuaalimuseossa esitetyt 3D-mallit olivat internetistä otettuja vapaasti ladattavia ja käytettäviä 3D-malleja, jolloin säästyttiin 3D-mallintamisen vaivalta. Tällöin toki täytyy olla varma siitä, että mallit ovat tarkoitukseen sopivia, varsinkin jos lopputuloksella pyritään autenttisuuden tavoitteluun. Lisäksi 3D-esineiden metatietojen tulee olla luotettavia. Metatieto on tietoa tiedosta, eli se kuvaa aineiston kontekstia, sisältöä ja rakennetta, ja sitä voi hyödyntää esimerkiksi aineiston pitkäaikaissäilytyksessä sekä tunnistamisessa (CSC 2019). Lisäksi moni museo haluaa tuoda virtuaalimuseoihinsa omien kokoelmiensa esineitä, joita ei välttämättä ole vielä 3D-mallinnettu, tai sitten sen hetkisten mallien laatu ei ole virtuaalimuseon käyttöön sopiva.

Timeless Museum pyrki olemaan kantaa ottava näyttäessään dystopista maailmaa, jossa tunnetut kulttuurihistorialliset maamerkit ovat tuhoutuneet muun muassa väkivallan ja ihmiskunnan itsetuhoisuuden vuoksi (Aiello et al. 2019: 36). Näyttely kokeili tapoja hyödyntää laadukasta ja kokeilevaa virtuaalitodellisuutta museoissa, ja samalla se haastoi museovieraita ajattelemaan kriittisesti tulevaisuuden näkymiä. Se myös pyrki vähentämään ihmisten tarvetta matkustaa ympäri maailmaa kulttuurihistorian perässä, mahdollistaen sen saavutettavuuden yhä useammille ja varsinkin niille, jotka eivät kykene matkustamaan (Aiello et al. 2019: 39). Samaa tavoitteli myös *Stoa of Attalos* -virtuaalinäyttely, johon pystyi tutustumaan myös poistumatta kotoa, kun taas *Timeless Museum* -näyttelyyn saattoi tutustua vain museosta käsin. Vastaavasti MNEME-järjestelmällä luotua virtuaalimuseota saattoi käyttää vain paikoissa, joihin se oli asennettu, ja sitä esiteltiin useissa eri maissa (Bruno et al. 2010: 48), jolloin käyttäjät pääsivät tutustumaan kulttuuriperintöön ilman matkustamista. Samalla näyttely saattoi auttaa muuttamaan ihmisten ajattelutapojen muutoksia matkustamisen tarpeellisuuden suhteen.

Vaikka moni museo pyrkii tarjoamaan virtuaalimuseoiden avulla saavutettavuutta ja esteettömyyttä, eivät ne tietenkään pysty tavoittamaan kaikkia kohderyhmiä samanaikaisesti. Kotoa käsin käytettävät virtuaalimuseot vaativat käyttäjältä tarkoitukseen sopivaa teknologiaa, jonka avulla museoon pystyy tutustumaan, sekä myös jonkinlaisia tietoteknisiä taitoja. Olivat virtuaalimuseot sitten fyysisesti museossa tai kotona käytettäviä, niiden helppokäyttöisyyksään ei voi taata sitä, että jokainen virtuaalimuseosta kiinnostunut pääsisi sen äärelle. Luontevampaa sisältöjen käyttö on niille, jotka ovat tottuneet käyttämään teknologiaa, vaikka selkeät ohjeet ja

helppokäyttöisyys voivatkin tehdä sisällöstä saavutettavampaa eri kävijäryhmille ja ikäluokille. Virtuaalimuseoita suunniteltaessa on hyvä pysähtyä miettimään sitä, keille sisältöjä ylipäättään tuotetaan, jos moni ei pysty käyttämään niitä luontevasti tai lainkaan. Ovatko sisällöt tarkoitettuja niille, jotka helpommin päätyvät virtuaalimuseoiden äärelle, sekä sen seurauksena tuovat museoille tuloja niissä vierailen, vai yritetäänkö niillä tosiaan tavoitella niiden kohderyhmien huomiota, jotka eivät muuten vierailisi museoissa fyysisesti?

Timeless Museum -projektissa hyödynnettiin VR-laseja, jolloin virtuaalinäyttelyssä oli kyse myös virtuaalitodellisuudesta, samoin kuin MNEME-järjestelmänkin luoneessa projektissa. The Stoa of Attalos -virtuaalinäyttelyssä voi katsoa myös olleen virtuaalitodellisuutta, vaikka se esitettiin pelkällä tietokoneen näytöllä. Virtuaalitodellisuuden lisäksi voidaan käyttää myös lisättyä todellisuutta, jonka lopputuloksen ei välttämättä tarvitse edes sisältää virtuaalitekniologiaa, vaikka useimmiten lisätty todellisuus kulkee käsi kädessä teknologian kanssa. Eremitaasi-museossa suunniteltiin näyttelyä varten lisättyä todellisuutta käyttämällä QR-koodeja, jolloin koodin lukevan laitteen oli tarkoitus välittää käyttäjälle vaikutelma ympäristöstä, jossa kohteena olevat museoesineet ovat olleet, ja mahdollistaa vuorovaikutuksen esineiden ja käyttäjien välillä (Pikov et al. 2015: 2). Lisätty todellisuus on museolle helppo vaihtoehto, jos museokävijät voivat käyttää omia älypuhelimia tai tablettitietokoneita, jotka lukevat esimerkiksi QR-koodeja. Saavutettavampaa siitä saadaan, jos museokävijä voi tarvittaessa lainata museosta laitetta, jonka avulla tutustua lisätyn todellisuuden sovellukseen. Tällöin museo ei oletta kävijöiden omistavan laitteita, mikä parantaa kävijöiden mahdollisuuksia tutustua 3D-teknologiaan. *Etruscans in 3D* -projektissa (Jiménez Fernández-Palacios & Remondino. 2013: 88) toteutettiin lisätyn todellisuuden hyödyntäminen näyttelyssä, ja lisättyyn todellisuuteen pääsi tutustumaan ilman museokävijän omaa älylaitetta. Hauraiden hautakammioiden esineistöä 3D-mallinnettiin, ja lisätyn todellisuuden teknologian avulla näyttelyssä pystyi esimerkiksi näkemään itsensä näytön välityksellä käsittelemässä 3D-mallinnettua museoesinettä (Jiménez Fernández-Palacios & Remondino 2013: 88). Eremitaasi-museon projektissa lisätty todellisuus oli myös tarkoitus sisällyttää näyttelyyn niin, että kävijä ei tarvitsisi omaa älylaitettaan, mutta projektia esittelevä artikkeli ei kerro sitä, toteutuiko lisätty todellisuus, vai jäikö se vain suunnitteluvaiheeseen.

Touching the Untouchable: increasing access to archaeological artefacts by virtual handling -projektissa (tästä eteenpäin *Touching the Untouchable* -projekti) (Dima et al. 2014) hyödynnettiin sekä teknologiavälitteistä lisättyä todellisuutta, että sellaista, jossa käyttäjä ei tarvinnut teknologiaa avukseen, vaikka luomisprosessissa sitä käytettiinkin 3D-mallien ja -

tulosteiden valmistamisessa. Projektissa toteutettiin lisättyä todellisuutta yksinkertaisella tavalla, jossa katsoja kosketti 3D-tulostettua objektia, nähdessä samalla vitriinilasin pinnassa heijastuksena kätensä ”koskettamassa” alkuperäistä esinettä (Dima et al. 2014: 6). Monimutkaisemmassa lisätyn todellisuuden vaihtoehdossa käytettiin haptisen teknologian välinettä, jolloin käyttäjä kosketti virtuaalista 3D-mallia välineeseen kiinnitetyn styluksen avulla, nähdessä tässäkin vitriinilasista heijastuksen, joka loi illuusion alkuperäisen artefaktin koskettamisesta (Dima et al. 2014: 7). Nämä kaksi lisättyä todellisuutta sisältävää toteutusta olivat ainoat monista prototyypeistä, joita kehitettiin projektissa pidemmälle ja sijoitettiin oikeaan museoympäristöön (Dima et al. 2014: 5). *Touching the Untouchable* -projektissa museokävijöiden kommentteja toteutuksista haluttiin kuulla, ja samalla otettiin vastaan kehitysideoita tulevaisuuden projekteja varten (Dima et al. 2014: 9). Yleisön ajatuksia ja toiveita kuuntelemalla on mahdollista kehittää 3D-teknologiaa soveltavia ratkaisuja, jotka kiinnostavat enemmän yleisöä. Näin museokävijät saavat vaikuttaa näyttelyiden sisältöön, joka ehkäisee turhan teknologian lisäämistä museoihin, ja museot voivat kehittää sisältöjään paremmin yleisölähtöisiksi. *Touching the Untouchable* -projektissa prototyyppejä kokeilleet museokävijät nostivat esille tärkeitä huomioita siitä, kuinka kohteena olevan esineen olisi pitänyt olla suurempi ja selkeämpi, jotta haptisen teknologian laitteen avulla esinettä olisi voinut tunnustella paremmin. Myös muita parannusideoita esitettiin molempiin prototyyppeihin, ja kommenttien perusteella oli mahdollista kehittää toteutuksia toimivimmiksi.

Lisätty todellisuus on virtuaalitodellisuutta helpommin toteutettavissa museoympäristössä, sillä jopa näyttelyihin luodut äänimaisemat voidaan katsoa lisätyksi todellisuudeksi, vaikka kyse ei olisikaan 3D-mallintamisesta. Lisätyssä todellisuudessa aidon ympäristön tuoma tuki voi auttaa autenttisuuden tunteen vahvistamista, kun taas virtuaalitodellisuudessa ympäristö on kokonaan keinotekoinen. 3D-teknologiaa hyödyntävä lisätty todellisuus ei vaadi aina kalliita hankintoja näyttelyissä käytettävään välineistöön, varsinkin jos materiaaliin on mahdollista tutustua myös kävijän omalla älypuhelimella tai tablettitietokoneella. Se ei ole kuitenkaan paras vaihtoehto tasavertaisuuden ja saavutettavuuden kannalta, sillä jokainen museokävijä ei omista tarkoitukseen sopivaa älylaitetta, ja näin pääsee sisältöjen äärelle. Huolella tehdyt lisätyn todellisuuden näyttelyt, virtuaalimuseot ja virtuaalitodellisuutta hyödyntävät virtuaalimuseot voivat parhaimmillaan vähentää ihmisten tarvetta matkustaa. Ne voivat lisätä kulttuuriperinnöstä nauttimisen tasa-arvoisuutta, ja saattavat jopa auttaa ihmisiä löytämään

uuden yhteyden menetettyihin kulttuuriperintöesineisiin, jotka ovat päätyneet muiden maiden omistukseen tai tuhoutuneet aikojen saatossa.

4.3 Esineestä virtuaaliseksi ja takaisin – 3D-tulostaminen ja haptinen teknologia näyttelyissä

Perinteisesti museoesineitä ei saa koskettaa niiden tultua osaksi museokokoelmia, minkä avulla taataan esineiden mahdollisimman pitkäaikainen säilyminen. Museokävijät olettavat, ettei museoesineisiin saa koskea, ja kävijöitä pyritäänkin pitämään kaukana arvokkaista ja korvaamattomista esineistä muun muassa vitriinilasein, köysin, hälyttimin ja kyltein (Bacci & Pavani 2014: 2). Tällöin näyttelyyn tutustumisen lähtökohtana on silmillä aistiminen, mikä ei ole omiaan tukemaan museoiden saavutettavuutta ja esteettömyyttä. Nykyään pystytään tarjoamaan myös kosketusaistin avulla esineisiin tutustumista 3D-tulostettujen objektien avulla (Di Franco et al. 2015: 243, 246), mikä tarjoaa uusia keinoja vuorovaikutukseen materiaalisen kulttuuriperinnön kanssa (Molloy & Milić 2018: 97). 3D-tulostamisen avulla voidaan luoda aivan uudenlaisia elämyksiä kulttuuriperinnön parissa (Hyungsoo Jung et al. 2017). 3D-tulostaminen on alkanut yleistyä niin yksityisten ihmisten arjessa kuin museokentälläkin kohtuuhintaisten 3D-tulostinten määrän lisääntyttyä (Ballarin et al. 2018: 55), mutta halvimpien laitteiden tuottama tulostuslaatu ei välttämättä ole museokäyttöön riittävää.

Kosketusaisti lisää ymmärrystä kyseessä olevan artefaktin luonteesta, erityisesti muodosta ja koosta. Artefaktit ovat fyysisiä esineitä, joiden käsittely on houkuttelevaa, sillä kosketuksen välityksellä esineiden luonne avautuu selkeämmin (Molloy & Milić 2018: 97). Vitriinien suojuissa olevat esineet saadaan taas kosketuksen ulottuville 3D-tulostamisen ansiosta. Museoesineiden kopioiden tai käyttökokoelmissa olevien alkuperäisten esineiden koskettaminen voi tuoda jokaiselle museokävijälle lisää konkretiaa esineen luonteen ymmärtämisessä, mutta erityisesti tästä on hyötyä näkövammaisille. 3D-tulostamista sisällytettäessä museoihin on hyvä tavoitella saavutettavuuden ja esteettömyyden lisäämistä, jolloin näkövammaiset ovat tärkeänä kohderyhmänä.

Projektissa *Touching the Untouchable* (Dima et al. 2014) pyrittiin tuottamaan kävijälle kokemus alkuperäisen artefaktin koskettamisesta yksinkertaisen lisätyn todellisuuden ja 3D-tulostamisen avulla. Poikkitieteellisessä hankkeessa oli vahvasti mukana näkövammaisten museokäynnin esteettömyyden ja saavutettavuuden lisääminen, josta kertoo erityisesti The

Royal Institute for the Blind -järjestön osallisuus. Näkövammaiset kävijät eivät kuitenkaan olleet hankkeen ainoa kohderyhmä, sillä esineen koskettamisen oletettiin tuovan lisää jokaisen museokävijän kokemukseen (Dima et al. 2014). Vastaavasti Ballarin et al. (2018) projekti keskittyi tuomaan museon kokoelmia näkövammaisten ulottuville lisäten saavutettavuutta, vaikka tavoitteen saavuttamisesta ei artikkelissa erikseen kerrottu. Lukijan tehtäväksi jää olettaa, että lopputulos pystyisi tuomaan syvempää museokokemusta näkövammaiselle museokävijälle. Projektin kohteena olevan kaiverretun kiven tapauksessa 3D-malliin tehtiin muutoksia ennen 3D-tulostamista, jotta artefaktin heikosti havaittavat kaiverrukset oli mahdollista tuntea myös käsin (Ballarin et al. 2018: 58). Lopullisessa muokatussa 3D-tulosteessa kaiverrukset erottuivat selkeämmin tunnusteltaessa, mikä lisäsi informaation määrää huomattavasti. Museovieraille tarjottiin myös vaihtoehtona tunnustella kopiota, jossa ei ollut muutoksia alkuperäiseen esineeseen verrattuna.

Molemmissa projekteissa oli tarkoituksena lisätä esteettömyyttä ja saavutettavuutta kosketettavan kopion välityksellä, mutta vain *Touching the Untouchable* -projektin vastaanotosta kirjoitettiin artikkelissa, kun taas Ballarin et al. keskittyivät esittelemään 3D-mallin ja 3D-tulosteen luomisprosessia ja esineen realistista ulkonäköä, jolloin kävijöiden kokemukset kiviesineen kopiosta jäivät kokonaan kertomatta. Projektissa kiinnitettiin todella paljon huomiota myös 3D-tulosteen autenttiseen ulkonäköön ja väritykseen, jolloin kohderyhmänä voi tulkita olevan myös muut kuin näkövammaiset, vaikka artikkelissa painotettiin erityisesti näkövammaisten museokävijöiden huomioon ottamista. Näkövammaisuus ei tietenkään tarkoita vain sokeutta, jolloin realistinen ulkonäkö on monelle tarpeellista 3D-esineen tarkastelussa. 3D-tulosteen yksityiskohtien korostaminen kuitenkin vaikutti lupaavalta lähestymiskeinolta erityisesti näkövammaisten kävijöiden huomioon ottamisessa. *Touching the Untouchable* -projektin tulokset puolestaan kertoivat selvästi projektin olleen onnistunut ja samalla kehityskelpoinen kävijöiden kommenttien perusteella.

Kosketettavaksi tarkoitettujen esineiden lisäksi 3D-tulostamista voidaan hyödyntää museonäyttelyissä myös täydentämällä rikkiäisen esineen puuttuvaa palaa, tai jopa kokonaan korvaamaan kadonnut tai hajonnut esine, jolloin 3D-mallintaminen ja -tulostaminen toimivat materiaalsen kulttuurin varmuuskopioina. The Factum Foundation säätiön rahoittamassa projektissa (Marshall et al. 2019) 3D-mallinnettiin fotogrammetrialla savesta valmistettu artefakti, jonka pienestä osasta toteutettiin tarkka kopio 3D-tulostamalla. Projektissa pyrittiin todistamaan, kuinka tarkasti 3D-tulostamalla voi valmistaa kopion artefaktin osasta, ja mahdollisesti käyttää sitä täydentämään hajonnutta esinettä (Marshall et al. 2019: 755).

Projektissa haasteeksi nousi kuitenkin 3D-tulostetun esineen epätarkkuus, sillä käytetty tulostin ei pystynyt tulostamaan riittävää laatua 3D-mallin tiedostokoon suuruudesta johtuen, ja 3D-tulostetta ei voitu käyttää toivotussa tarkoituksessa (Marshall et al. 2019: 755). Samalla kuitenkin huomioitiin, että teollisuuskäyttöön tarkoitetut 3D-tulostimet pystyisivät tuottamaan laadukkaan tulosteen. Vaikka projektissa ei saavutettu 3D-tulosteen osalta mieluisaa lopputulosta, rikkoutuneen esineen täydentäminen näyttelyä varten on kiinnostava tapa visualisoida esinettä museokävijöille, varsinkin kun 3D-tulostaminen on mahdollista ulkoistaa toivotun lopputuloksen saavuttamiseksi. Vaikka muovi materiaalina saattaa vähentää tunnisteltavan esineen aitouden tunnetta (esim. Wilson et al. 2018: 181), vitriinissä olevaa esinettä täydennettäessä lienee hyvä, että korvaava osa poikkeaa selkeästi alkuperäisen museoesineen materiaalista. Tällöin esinettä ei yritetä rekonstruoida, sillä 3D-tulostettu osa on selkeästi vain visualisoivana tekijänä, ja museoesineen luonne ei muutu merkittävästi.

3D-objekti on ideaalissa tilanteessa identtinen alkuperäisen artefaktin kanssa muodoltaan, mutta muun muassa värin ja painon eroavaisuudet saattavat vääristää tulkintoja artefaktin luonteesta (Di Franco et al. 2015: 260). Tulostetun esineen huolellinen maalaaminen alkuperäistä esinettä vastaavaksi on yksi keino lisätä kopion aitouden ja autenttisuuden tunnetta. Jotkin 3D-tulostimet pystyvät myös värjäämään tulosteen halutulla tavalla valmistusvaiheessa (Ballarin et al. 2018: 58), mikä saattaa johtaa autenttisempaan lopputulokseen. Autenttisuuden tavoittelu on tärkeää tietysti myös muualla kuin kulttuurihistoriallisissa museoissa, kuten Oxford University Museum of Natural History -museon 3D-projekti osoittaa (Wilson et al. 2018). Koehenkilöt arvioivat museon 3D-replikoiden aitoutta, ja kokivat 3D-tulosteen autenttisen ulkonäön tärkeäksi, samalla kun 3D-tulosteen yksityiskohtaisuus ja selkeys nousivat parhaan kopion kriteereiksi (Wilson et al. 2018: 181). 3D-kopion laatua heikentäviksi piirteiksi nousivat esineen vähäiset yksityiskohdat, jotka luonnollisesti vähensivät esineen realistisuutta (Wilson et al. 2018: 182). 3D-tulosteen heikko tulostusjälki ja laatu olivat myös kopion autenttisuutta vähentäviä tekijöitä epäaidon värin ja jopa pinnan vääränlaisten heijastusten lisäksi (Wilson et al. 2018: 182). *Touching the Untouchable* -projektissa museovieraiden arvostamat piirteet tulosteesta vastasivat luonnontieteellisen museon kävijöiden mielipiteitä. 3D-tulostetun shakkinappulan materiaalin toivottiin vastaavan paremmin artefaktin valmistusmateriaalia eli luuta, jotta kokemus olisi entistäkin vahvempi (Dima et al. 2014: 10). Vaikka 3D-tulostamalla ei luuta pystykään valmistamaan, museokävijöille tehdyn kyselyn mukaan tekstuurin ja materiaalin erilaisuudesta

huolimatta tulostettu esine paransi museokokemusta tehden siitä kiinnostavamman (Dima et al. 2014: 10).

3D-tulostetun esineen paino voi nousta ongelmaksi, jos se poikkeaa alkuperäisestä museoesineestä merkittävästi, sillä se voi muuttaa museokävijän tulkintoja alkuperäisen esineen painosta, valmistusmateriaalista ja jopa esineen käyttötarkoituksesta tai luonteesta (Di Franco et al. 2015: 260). Jos 3D-tulostettu esine on ontto, kehityskelpoisena ideana voi olla esineen täyttäminen sopivan painoisella materiaalilla, joka ei liiku esineen sisällä. Varsinkin esineillä, joissa on tasainen pohja, täyttäminen voi olla varteenotettava ja suhteellisen helposti toteutettava ratkaisu. 3D-tulostettujen esineiden painon muuttamista ei toteutettu aineiston projekteissa. *Touching the Untouchable* -projektissa huomioitiin painon vaikuttaminen esineen aitouteen (Dima et al. 2014: 12), mutta paino ei suoranaisesti ollut tärkeässä roolissa alustaan kiinnitetyn replikan ollessa kyseessä.

Museoiden on pystyttävä tuottamaan laadukkaita 3D-kopiota, jotta kävijät saavat mahdollisimman todenmukaisen kuvan kyseessä olevasta museoesineestä ja sen kopiosta. Pienenkin esineen 3D-tulostaminen voi viedä useita tunteja (Skytte-Jakobsen 2018: 132), eikä museon hankkima 3D-tulostin välttämättä tuota sopivaa jälkeä museon tarpeisiin. Museoiden ei kuitenkaan ole välttämätöntä hankkia kallista 3D-tulostinta, sillä tarvittavat esineet voi tilata 3D-tulostamiseen erikoistuneilta yrityksiltä, mikä mahdollistaa eri tulostimien ja tulostusmateriaalien kokeilun (Ballarin et al 2018: 57). Kokeilemalla eri tulostimia voi myös helpommin valita mahdollisesti hankittavan tulostimen ilman pelkoa sen soveltumisesta museon käyttöön.

3D-mallit ja kosketus eivät rajoitu ainoastaan 3D-tulosteisiin, sillä kiinnostavana ja kenties hieman tuntemattomana osa-alueena 3D-mallien hyödyntämisessä museokentällä ovat tuntoaistia hyödyntävät haptisen teknologian laitteet. Aivan kuten 3D-tulosteiden kanssa, myös haptisen teknologian välityksellä esineitä voi koskea, mutta haptisen teknologian ollessa kyseessä puhutaan lisätystä todellisuudesta. 3D-tulostamisen tavoin haptista teknologiaa hyödynnettäessä haluttu esine tulee 3D-mallintaa, mutta esineen koskettamisen vaikutelma tapahtuu haptisen teknologian välineen avulla, jolloin museoesineeseen ei todellisuudessa kosketa. Haptisen laitteen avulla käyttäjä pystyy aistimaan tarkasteltavana olevan esineen muotoa, pinnan tekstuureja ja jopa painoa virtuaalisen kopion välityksellä, jolloin käyttäjä saa esineestä huomattavan paljon informaatiota (Asano & Ishibashi 2004: 19). Hyvin toteutettuna

haptinen teknologia voi lisätä museoiden saavutettavuutta ja esteettömyyttä, sillä se tuo erilaisen mahdollisuuden käyttää kosketusta osana museonäyttelyihin tutustumista.

Haptisen teknologian käyttö tai kokeilu museoissa ei ole uusi idea, kuten vuonna 2003 toteutettu kokeilu PURE-FORM-projektin alla osoittaa (Jansson et al. 2003). PURE-FORM-projektin tarkoituksena oli tarjota erityisesti näkövammaisille uusia tapoja olla vuorovaikutuksessa taiteen kanssa (Jansson et al. 2003: 3). Erityisen käsivarteen ja sormiin kiinnitettävän ulkoisen tukirangan avulla käyttäjät pystyivät tunnustelemaan 3D-skannatun patsaan virtuaalisen kopion muotoja (Jansson et al. 2003: 9). Haptista teknologiaa on mahdollista yhdistää käytettäväksi myös virtuaalimuseon kanssa, jolloin käyttäjä pystyy tutkimaan virtuaalimuseoympäristön 3D-objekteja samalla koskettaen esineitä (Asano & Ishibashi 2004: 20). Haptiseen teknologiaan on lisätty myös äänellä kuvailua kosketuksen oheen, jolloin haptisen välineen koskettaessa virtuaalisen 3D-mallin pintoja käyttäjä kuulee reaaliaikaista kuvailua tarkkailtavana olevan esineen piirteistä ja väreistä (Park et al. 2015: 331). Saavutettava lisätty todellisuus voi näin ollen sisältää muun muassa puhetta ja muita ääniä, haptista teknologiaa tai muuta käsinkosketeltavaa materiaalia, sekä kuvamateriaalia (Coughlan & Miele 2017: 291). Nämä kokeilevat ja innovatiiviset projektit lupaavine tuloksineen voivat mahdollistaa lähitulevaisuuden museokävijöille entistä rikkaampia museokokemuksia, tarjoten jopa enemmän informaatiota kuin pelkän tunteen virtuaalisen esineen kosketuksesta.

Haptisen teknologian toimivuuden kannalta ei ole välttämätöntä, että esine olisi pieni tai alkuperäisen museoesineen kokoinen (Asano & Ishibashi 2004: 20), vaikka esineestä saatavan informaation voi olettaa olevan parasta kopion vastatessa alkuperäisen esineen kokoa, jolloin riittävän pieni esine toimisi parhaiten. Liian pienen esineen yksityiskohdat voivat silti jäädä vaikeaksi tulkittaviksi varsinkin haptisen teknologian laitteen kanssa. *Touching the Untouchable* -projektissa 3D-mallinnettiin pieni shakkinappula, josta toteutettiin luonnollista kokoa oleva virtuaalinen kopio haptista laitetta varten (Dima et al. 2014: 6). Projektissa todettiin kuitenkin, että haptisen teknologian laitteen käyttöä hankaloitti tunnusteltavan virtuaalisen kopion pieni koko (Dima et al. 2014: 10), ja heikkonäköinen henkilö ei välttämättä pystyisi näkemään riittävästi tai lainkaan vitriinistä heijastuvaa optista illuusiota, jonka varaan prototyyppi rakentui. Kenties suuremman tai selkeämmän muotoisen esineen kanssa haptisen teknologian laitteen hyödyt tulisivat paremmin esille.

Haptisen teknologian lisääminen näyttelyihin voi aiheuttaa huolia siitä, viekö kiinnostava teknologia kenties huomiota pois alkuperäisistä museoesineistä (Dima et al. 2014: 5).

Teknologian käytön tulisi myös olla tarpeeksi helppoa ja laitteen hiljainen ja kestävä, jotta kunnossapitokustannukset eivät nousisi liian korkeiksi (Dima et al. 2014: 5). *Touching the Untouchable* -projektissa kävijöille tosin tarjottiin mahdollisuus käsitellä sekä 3D-tulostetta että haptisen laitteen välityksellä koskettavaa virtuaalista kopiota, jolloin mielipiteet kallistuivat 3D-tulosteen puolelle, koska käsillä koskettaminen koettiin luontevammaksi. Museokävijät olivat selkeästi enemmän mukavuusalueellaan, kun he saivat koskea käsillään esinettä, sen sijaan että olisivat käyttäneet ennestään tuntematonta haptisen teknologian laitetta (Dima et al. 2014: 11). Vertailun mahdollisuus on voinut korostaa haptisen laitteen vierautta ja epäkäytännöllisyyden tunnetta kävijöissä. Kävijöiden tunteet olisivat kenties olleet positiivisempia, jos vertailun sijaan he olisivat tutustuneet pelkästään haptisen teknologian laitteeseen. Esineen pinnan tuntuman koettiin olevan tärkeässä roolissa, jolloin 3D-tulostetun esineen kanssa toivotut tulokset olivat parempia kuin haptisen teknologian laitteen välityksellä (Dima et al. 2014: 11). Vaikka kävijät suosivat 3D-tulostetta haptisen teknologian laitteen sijaan, kumpikaan tapa esittää esine kolmiulotteisena ei vienyt huomiota pois alkuperäisestä esineestä, vaan teki siitä jopa kiinnostavamman (Dima et al. 2014: 12).

3D-tulosteen kustannukset toteuttamisesta ja ylläpidosta jäävät pienemmiksi kuin haptisen laitteen hyödyntämisessä näyttelyissä, ja käytön yksinkertaisuus on 3D-tulosteen eduksi (Dima et al. 2014: 11). Vaikka haptisen teknologian mukana tulee haasteita, joita ei esimerkiksi 3D-tulostamisessa välttämättä ole, voi teknologian läsnäolon museonäyttelyissä kuitenkin olettaa kiinnostavan museokävijöitä eri kohderyhmistä. Kiinnostus teknologiaa kohtaan voi tuoda museokävijälle ennalta arvaamatonta mielenkiintoa tarkastelun kohteena olevaan esineeseen, jota ei välttämättä syntyisi pelkän perinteisen vitriinin lävitse tarkasteltaessa. Kopiota koskettaessa kävijä voi kokea tuntevansa syvempää yhteyttä menneisyyteen ja ymmärtää esinettä paremmin (Dima et al. 2014: 10). Varsinkin lapsia saattavat kiinnostaa eniten 3D-kopiot, jotka ovat visuaalisesti kiinnostavia värien ja yksityiskohtien puolesta (Wilson et al. 2018: 183). Kopio voi jopa houkuttaa yleisöä alkuperäistä esinettä enemmän sen salliessa koskettamisen (Di Franco et al. 2015: 260), mutta tämä ei vähennä alkuperäisen esineen arvoa. 3D-tulosteilla voi pystyä parantamaan museokokemusta kävijästä riippumatta, vaikkakin merkittävimpänä kohderyhmänä voi pitää näkövammaisia, jotka pystyvät kosketuksen avulla saamaan enemmän informaatiota, kuin esimerkiksi kerronnan tai kuvailutulkkauksen välityksellä. 3D-tulosteen avulla on mahdollista luoda edellytykset uuden kontaktin syntymiseen kävijän ja esineen välille, niin artefaktin kuin taide-esineen kanssa. Parhaimmillaan 3D-tulostetun kopion kanssa museokävijän museokokemus saattaa muuttua

elämykseksi, joka voi muuttaa tai vahvistaa kävijän museokokemuksia positiivisemmiksi myös tulevaisuudessa. 3D-tulostettujen esineiden ja haptisen teknologian laitteiden avulla pyritään tekemään museoesineistä lähestyttävämpiä, esteettömyyttä ja saavutettavuutta parantaen. Vain yhden tai muutaman museoesineen mallintaminen ei pysty tekemään museosta esteetöntä ja saavutettavaa, mutta se on ehdottomasti askel kohti tasa-arvoisempaa museokokemusta.

4.4 3D-teknologia työpajojen tukena

Nykyään on saatavilla yhä enemmän museoesineiden 3D-malleja internetistä, samoin kuin 3D-mallien käsittelyohjeita ja digitaalisia työkaluja, samalla kun museot hyödyntävät yhä enemmän 3D-arkistojensa sisältöjä (Younan & Treadaway 2015: 241–242). Tämä auttaa kulttuuriperinnön saavutettavuuden lisäämisessä, kun ihmiset pääsevät museoiden kokoelmien äärelle helposti internetin kautta. *(Im)material Artefacts* -projektin (Younan & Treadaway 2015) avulla haluttiin lisätä merkityksellistä vuorovaikutusta museoesineiden kanssa, samalla vahvistaen oppimista. Taiteilijoiden kanssa toteutetun projektin lopputulokset julkaistiin sekä konkreettisesti museossa että verkossa, jotta entistä laajemmat yleisöt pääsivät niiden äärelle (Younan & Treadaway 2015: 241). Projektissa 3D-mallinnetut museoesineet toimivat luovuuden innoittajina ja parhaimmillaan jopa toivat pintaan muistoja, kun taiteilijat saivat työstää annettuja 3D-malleja haluamaansa muotoon tai yhdistellä niitä. Digitaalisessa muodossakin oleva kulttuuriperintö saattaa laittaa ihmisen pohtimaan omaa identiteettiään (Younan & Treadaway 2015: 246). Internetistä ladattavien ilmaisten 3D-mallien avulla vastaavien museovieraita osallistavien työpajojen järjestämisen kynnys voi madaltua, jos työpajoissa käytettävät 3D-mallit eivät itsessään aiheuta kuluja. Toisaalta tällöin kohteena olevat esineet eivät välttämättä liity museoon itsessään, jolloin kävijän näyttelykohtaista museokokemusta voi olla vaikeaa syventää.

(Im)material Artefacts -projektin tavoin *Pottery Goes Public* -projekti halusi osallistaa museokävijöitä, ja lisäksi esitellä arkeologian nykyaikaista teknologista välineistöä käytännössä (Opgenhaffen et al. 2018: 69). 3D-teknologia tuntuu houkuttelevan vierailijoita työpajoihin, ja ne toimivat oivallisina keskustelun käynnistäjinä ja pitävät ihmisten mielenkiintoa yllä (Skytte Jakobsen 2016: 321). Etnografisen tutkimuksen puitteissa sekä aikuiset että lapset saivat 3D-mallinnettujen ja -tulostettujen leimasinten avulla kokeilla saveen leimaamista, ja näin pyrkiä kokemaan omin käsin, kuinka saveen saatettiin painaa kuvioita

menneinä vuosisatoina (Opgenhaffen et al. 2018: 71–72). Käsinkosketeltavuus ei rajoittunut vain savityöpajan tarjoamaan sisältöön, sillä yleisö sai myös tutustua 3D-printteihin ja pitää niitä kädessään samalla, kun he saivat keskustella arkeologien kanssa (Opgenhaffen 2018: 77). Kulttuuriperintöesineistä tehtyjen 3D-mallien muokkaaminen ja käsittely, niin virtuaalisten kuin konkreettisten 3D-tulostettujen esineiden, voi avustaa itseohjautuvaa oppimista (Younan & Treadaway 2015: 246). Esimerkiksi esineiden 3D-mallintamisprosessiin osallistuminen kehittää samalla vierailijan mielenkiintoa fyysisiin kokoelmiin (Skytte Jakobsen 2016: 121). 3D-teknologiaa sisältävät työpajat voidaan myös räätälöidä lapsille, jolloin kiinnostavan nykyaikaisen teknologian välityksellä lapset voivat oppia menneisyydestä luovalla ja hausalla tavalla, tehden samalla itse aktiivisesti (Turner et al. 2017: 328). Oppiminen ja mielenkiinto on molemminpuolista, sillä museohenkilökuntakin voi oppia paljon yleisön parissa toimimisesta, kuten *Pottery Goes Public* -projekti todistaa: vierailijan ehdotuksen mukaisesti etnografiseen tutkimukseen lisättiin tarkasteltava asia, joka tutkijoilta oli jäänyt kokonaan huomioimatta (Opgenhaffen 2018: 77). Samalla akateemisen maailman ja yleisön välistä kuilua voidaan jälleen pienentää.

3D-työpajat voivat tarjota museovieraalle opetuksellisen kokemuksen lisäksi myös esimerkiksi matkamuistoksi 3D-tulostetun esineen, joka liittyy jollakin tavalla työpajan sisältöön, kuten tanskalaisen Kunsten-museon työpajassa tehtiin (Skytte Jakobsen 2016). Matkamuistoiksi tulostettavat esineet saattavat myös olla värikkäitä versioita esineistä (Opgenhaffen 2018: 77), jolloin ne voivat olla persoonallisempia ja mielekkäämpiä muistoja museokäynnistä. 3D-tulostimen työskentelyn seuraaminen voi olla lumoavaa (Opgenhaffen 2018: 77) ja tehdä matkamuistosta merkityksellisemmän, jos sen teossa on saanut itse olla osallisena, tai sitä on seurannut sivusta. 3D-tulostaminen vie kuitenkin kauan aikaa, jopa tunteja, varsinkin jos kyseessä ei ole todella pieni esine, ja tämä luonnollisesti hankaloittaa matkamuistoksi tulostettavien esineiden tuottamista (Skytte Jakobsen 2016: 132). Kyseessä voi toki yhä olla uutuudenviehätys, joka valtaa ihmiset 3D-tulostinten ja 3D-tulostettujen esineiden äärellä (Opgenhaffen 2018: 77), mutta tuskin kiinnostus 3D-tulostamiseen kovin pian on vähenemässä. Museokäynnin jälkeenkin kävijän on mahdollista tulostaa henkilökohtainen matkamuisto omalla tai esimerkiksi kirjastojen 3D-tulostimilla. 3D-teknologioiden sisällyttäminen työpajoihin saattaa auttaa tekemään museoista entistä kiinnostavampia, sillä niiden käyttö on vielä suhteellisen uutta, ja se tarjoaa museovieraille arjesta poikkeavaa toimintaa. Vaikka 3D-teknologia olisikin kävijälle tuttua, luultavasti museoiden työpajat kykenevät tarjoamaan kiehtovia ja erilaisia näkökulmia ja lähestymistapoja 3D-teknologian parissa.

4.5 3D kokoelmanhallinnan ja -hoidon tukena

Museoiden yhtenä tärkeimpänä tehtävänä on tallentaa menneen ja nykyisen ajan esineitä säilyttääkseen korvaamattoman arvokasta kulttuuriperintöä tulevaisuuden sukupolville. Tämä tarkoittaa sitä, että museoiden kokoelmat kasvavat eittämättä jatkuvasti. 3D-mallintamisen avulla kokoelmia on mahdollista päästä tarkastelemaan ilman esineiden tarpeetonta koskettamista, mikä puolestaan pidentää niiden säilymisikää ja pienentää hajoamisen riskiä, joka suurenee esineitä käsiteltäessä. Vaikka 3D-mallintamalla on mahdollista ja jopa järkevää teettää kokoelmien esineistä digitaalisia varmuuskopioita, eivät ne voi korvata alkuperäistä museoesinettä. Kun jokin esine on tullut museon kokoelmien kannalta tarpeettomaksi, tai se on hajoamassa ajan myötä, voi poistettavan esineen 3D-mallintaminen olla hyvä ottaa osaksi prosessia, sillä 3D-malli pystyy tarjoamaan paljon enemmän informaatiota kuin perinteinen valokuva yksinään. Vaikka valokuvat ovatkin tehokas, halpa ja yksinkertainen metodi kokoelmien dokumentointiin, 3D-malli tarjoaa paremman vastineen, jos alkuperäinen objekti ei ole saatavilla (Kuzminsky & Gardiner 2012: 2746).

3D-malleja on mahdollista jakaa sujuvasti internetin välityksellä, mikä hyödyttää sekä tutkimusta että jokaista asiasta kiinnostunutta. Jakamalla kokoelmiensa sisältöä digitaalisessa muodossa museot voivat myös auttaa toisia museoita tutkimustyössä. Australiassa Queenslandin yliopiston projektissa luotiin tietokoneohjelma nimeltään 3DSA (The 3D Semantic Association), joka mahdollisti juuri 3D-mallien kokoamisen yhteen erityisesti museoammattilaisia varten (Yu & Hunter 2013). 3DSA-ohjelma myös mahdollisti museoammattilaisille tuntomerkkien kirjaamista esineisiin, mitä voitiin hyödyntää esineiden samankaltaisuuksia etsittäessä (Yu & Hunter 2013: 12). Lisäksi ohjelma kykeni automaattisesti muodostamaan samankaltaisuuksien luomia yhteyksiä, jotka koskivat esineiden muotoja ja tilavuuksia, myös esineen pienemmistä osista, eikä vain esineestä kokonaisuutena (Yu & Hunter 2013: 9). Vastaavat järjestelmät voivat tukea myös esineiden luettelointityötä ja auttaa esineiden nopeassa tunnistamisessa. *Automatic Dimensional Characterisation of Pottery* -projektissa tartuttiin keramiikan, eli yhden suurimman arkeologisten kaivausten löytöryhmän automatisoituun luokitteluun (Di Angelo et al. 2017: 118). Pienten keramiikan kappaleiden tunnistaminen on usein ihmissilmällä haastava tehtävä, jolloin automaattiset luokittelujärjestelmät ovat ehdottomasti avuksi. Vaikka luokittelu itsessään helpottuisikin huomattavasti ja tulokset olisivat parempia, ei valtavien keramiikka-aineistojen 3D-mallinnus ole kuitenkaan aivan triviaali tehtävä, vaikka pidemmän päälle suuret vertailuaineistot olisivatkin eduksi. Jos 3D-mallintaminen kuitenkin otetaan tavaksi, nopeutuu

mallintamisprosessikin, jolloin kenties helposti sivuutetun aineiston mallintaminen on kannattavaa.

Kokoelmien menestykselliseen hallintaan kuuluu luonnollisesti se, että esineet säilyvät mahdollisimman kauas tulevaisuuteen, käytännössä ikuisuutta tavoitellen. Monen esineen ja materiaalin kohdalla tämä ei tule toteutumaan edes oman aikamme puitteissa, mutta konservointi auttaa tämän ikuisuuden tavoittelemisessa, laadukkaiden ja monipuolisten dokumentointimenetelmien ohella. Kokoelmat voivat kohdata useita erilaisia riskejä, joita ovat esimerkiksi tuholaiset, rikollisuus, tuli, vesi, kontaminoituminen, väärät lämpötilat ja ilmankosteudet, säteily eli valo ja esineen rikkoutuminen esimerkiksi käsittelystä johtuen (Keene 2012: 64). Lisäksi ilmansaasteet ovat suuri ongelma erityisesti historiallisten rakennusten toimiessa museoina, sillä niitä ei ole rakennettu silmällä pitäen museoesineiden säilymistä (Krupińska et al 2013: 350).

Kokoelmia mallinnettaessa on hyvä mallintaa hauraimmat ja ympäristön muutoksille alttiimmat esineet ensin, kuten esimerkiksi museo Leikki teki Opetusministeriön rahoittamassa projektissaan mallintamalla ensin heikoimmin säilyvistä materiaaleista valmistettuja esineitä (Museo Leikki 2020). 3D-mallintamisella voidaan vähentää onnistuneesti riskien aiheuttamia vahinkoja kokoelmille, vaikka se ei tässäkään tapauksessa korvaa tuhoutunutta fyysistä esinettä. Esineiden pitkäikäisyyden tavoittelussa konservointi on tärkeässä roolissa. Konservoinnin ollessa tärkeä kokoelmille, sen roolia ei voi väheksyä museon maineeseen puolesta; jos kokoelmien vaurioituminen olisi voitu estää laadukkaan konservoinnin tai dokumentoinnin avulla, voi tulevaisuuden rahoitusten saaminen olla vaikeaa ja vastuullisen museon maine hankala saavuttaa uudelleen (Keene 2012: 66).

3D-mallintaminen voi tuoda apua myös museoesineiden kuljetukselle, jonka aikana ne ovat suuremmassa vaarassa vaurioitua, kuin museoiden varastoissa tai näyttelyissä. 3D-mallintamalla museoesineen huolellisesti, on esineen todelliset ja tarkat mitat ja muodot saatavissa selville ilman, että esineeseen täytyy kajota; mittausten avulla esineelle pystytään rakentamaan täydellisesti sopiva kuljetuslaatikko, joka suojaa esinettä mahdollisimman hyvin vaurioilta. Kiinalaisessa tutkimuksessa terrakottasotilas 3D-mallinnettiin, ja mallin avulla sotilaille oli mahdollista teettää täsmällisesti istuva muotti, jota saattoi hyödyntää sen kuljetuksessa (Song et al. 2018: 11). Muottien teettäminen ei liene edullinen vaihtoehto, mutta 3D-mallin mahdollistamat tarkat mitat voivat silti auttaa kuljetuslaatikon ja -tukien valmistamisessa.

3D-mallintamisen hyödyt konservointia ajatellen ovat merkittäviä, kuten Royal Museum of Congo -museon kokoelmiin kuuluvan afrikkalaisen torven sekä Royal Belgian Institute of Natural Sciences -instituutin kokoelmiin kuuluvan kaiverretun sarven kappaleen 3D-mallintamisessa todettiin (Mathys et al. 2019). Molempien artefaktien kaiverukset saatiin tutkittua tarkemmin 3D-mallin avulla, esimerkiksi poistamalla mallin pinnasta tekstuuria, jolloin kaiverukset erottuivat selkeämmin kuin alkuperäisen esineen pinnalla. Esineet mallinnettiin fotogrammetrisesti, mutta kuvausprosessissa hyödynnettiin myös valon eri aallonpituuksia (Mathys et al. 2019: 92, 93). Kun esineistä kytetään havaitsemaan tarkemmin konservointiin vaikuttavia tekijöitä, ovat ne kenties konservoitavissa paremmin. Laadukkaiden 3D-mallinnettujen museoesineiden avulla konservaattoreiden on myös mahdollista tarkkailla esineiden mahdollisia muutoksia ajan mittaan, sillä valokuvan tavoin 3D-mallikin tallentaa vain sen hetken, jolloin esine on mallinnettu.

Parhaiten tarkkailu onnistuisi mallintamalla samaa esinettä useita kertoja tietyin väliajoin, esineen haurastumistahdin huomioon ottaen. Tämä ei tietenkään ole esineelle paras mahdollinen tilanne, sillä useat mallintamiskerrat voivat vaurioittaa esinettä enemmän, mallintamisen vaatiessa aina esineen käsittelyä, vaikka lopullisen mallin tarkastelu onkin esineeseen kajoamatonta. Lisäksi suurten kokoelmien mallintaminen aina vain uudelleen ei ole toimiva tai kustannustehokas ratkaisu. Konservoinnin tarkoituksena on myös tarkastella tulevaisuutta ennakoiden esineen kohtaloa (Keene 2012: 204), ja 3D-mallintamisen avulla tarkastelu ja esineen tilan mahdolliset muutokset voi olla mahdollista havaita aiemmin, jolloin museoesineen elinikää voidaan pidentää.

4.6 Esinetutkimusta 3D-teknologiaa hyödyntäen

3D-teknologia mahdollistaa esineisiin kohdistuvan tutkimuksen tekoa monipuolisemmin kuin ennen, sillä tarkastellakseen toisella puolella maailmaa olevien museoiden esinekokoelmia ei tarvitse välttämättä edes matkustaa. Tutkimuksessa hyödynnettävien 3D-mallien laadun tulee olla korkea, kun taas heikompilaatuiset voivat riittää mainiosti museoiden näyttelykäyttöön. 3D-mallinnettaessa voi olla hyvä ajatus mahdollisuuksien mukaan tallentaa sekä korkea- että heikompilaatuiset 3D-mallit, jotta niitä voidaan tulevaisuudessa hyödyntää niin tutkimuksessa kuin näyttelyissäkin (kts. esim. Tucci et al. 2011: 414). Edellytyksenä toki on, että 3D-malli on ylipäätään niin tarkka ja alkuperäistä esinettä vastaava, että sillä olisi tutkimuksellista arvoa.

3D-mallintaminen mahdollistaa monipuolisempia tutkimuskeinoja, jotka eivät mallintamisen jälkeen vahingoita esinettä, mahdollistaen esineen vapaan manipuloinnin.

3D-mallintamalla esimerkiksi arkeologisesta artefaktista voidaan saada selville paljon enemmän kuin mitä päälle päin on mahdollista nähdä, ja lisäksi voidaan korostaa esineen heikosti näkyviä kohtia, kuten ohuita kuvioita tai uria esineessä (Ballarin et al. 2018: 58), jolloin niiden tutkiminen voi helpottua. Jokainen korkealaatuinen tutkimuskäyttöönkään tarkoitettu 3D-malli ei välttämättä tuota toivottuja tuloksia esineen tutkimuksessa. Esimerkiksi Belgian Royal Museum for Central Africa -museon kokoelmissa olevan torven pinnan patina esti esineen kaiverrusten tulkitsemisen, joten 3D-mallintamisen kuvaushetkessä esine valaistiin eri valon taajuuksilla, jonka seurauksena 3D-mallissa kaiverrukset näkyivät huomattavasti selkeämmin (Mathys et al. 2019: 93). Lisähaasteensa erityisten kuvausvalaistusten lisäksi monen esineen tapauksessa tuovat tietysti vaikeat mallinnettavat, kuten heijastavat tai monimutkaiset esineet. Myös mallinnuksessa käytettävän laitteen, kuten laserskannerin tai kameran, tulee olla riittävän laadukas, sillä muuten esimerkiksi artefaktin valmistustapoja ei voida tutkia (Neiß et al. 2014: 657). Näyttelykäyttöön tarkoitettujen esineiden 3D-mallia voi täydentää ja muokata tarvittaessa manuaalisesti, jos 3D-artefaktissa on virheitä tai puutteita, mutta tutkimuksessa käytettävä malli ei saisi näitä sisältää, ja niistä tulisi mainita vähintään 3D-esineen metatiedoissa (Debenjak-Ijäs 2020: 41).

3D-mallinnetut esineet ovat aivan yhtä sidoksissa kuvaushetken olemukseensa kuin valokuvienkin esineet; esineet siis muuttuvat museoidenkin varastoissa ajan kuluessa, minkä vuoksi joskus on hyvä uusien esineiden 3D-mallit, jos sille suinkin on tarvetta. Digitoitu esine on pysäytetty kuvauspäivän hetkeen, kunnes se jonain päivänä digitoidaan kenties uudelleen (Suorsa 2014: 52). Sama koskee tietysti 3D-mallinnettua -tai digitoitua esinettä, joka pysyy muuttumattomana. Esineistä ei kuitenkaan ole välttämättä saatavilla ajantasaisia 3D-malleja, minkä vuoksi esineen näkeminen paikan päällä on aina varmin vaihtoehto, jos on epäily siitä, että esine on altis ympäristön muutoksille. Aina tälle ei kuitenkaan ole mahdollisuuksia, tai esineen luokse matkustaminen ei ole kannattavaa ympäristönsä puolesta. Lisäksi hauraan esineen vapaa tarkastelu 3D-mallin avulla voi silti antaa paljon enemmän tietoa kuin fyysinen esine, jota ei voi riskittä käsitellä. Esineiden lisäksi 3D-mallintaminen mahdollistaa tutkijoille digitaalisen pääsyn myös hauraisiin ja turvallisuusriskejä sisältäviin rakenteisiin, kuten esimerkiksi *Etruscans in 3D* -projektissa tehtiin (Jiménez Fernández-Palacios & Remondino 2013: 86).

3D-mallit mahdollistavat aineistojen systemaattisen vertailun keskenään, jolloin niistä paljastuu asioita, joita ei ole mahdollista havaita paljain silmin ja perinteisin tutkimusmenetelmin. 3D-mallintaminen voi auttaa selvittämään muun muassa artefaktien kulkeutumisreittejä tai valmistajia jopa yksilön tasolle saakka, kuten *Pottery Goes Public* -projektissa pyrittiin tekemään tutkimalla keramiikka-astioiden leimasinten kuvioita (Opgenhaffen 2018: 14). 3D-mallintamalla on jopa tutkittu artefakteista keraamisten öljylamppujen tekijöitä sormenjälkiä hyödyntäen, jolloin voi olla mahdollista arvioida tiettyjen pajojen tuotteiden kauppareittejä ja pajoissa työskennelleiden henkilöiden määriä (Lapp & Nicoli 2013: 42). Voipa 3D-mallien avulla pyrkiä selvittämään jopa roomalaisen legioonan liikkeitä tutkien sotilaiden palkaksi saamista kolikoista kuvioiden selkeyttä, näin päätellen rahan lyönnissä käytetyn muotin kulumista oletetun kulkureitin varrella (Tolksdorf et al. 2017). 3D-mallintaminen voi olla korvaamaton apu myös artefaktien tunnistamisessa ja luokittelussa, kuten myös rekonstruktioiden valmistamisessa ja artefaktin osien yhdistämisessä (kts. esim. Di Angelo et al. 2017; Biasotti et al. 2015). 3D-mallinnettujen objektien samankaltaisuuksia ja eroja voi tarkastella yksinkertaisesti asettamalla mallit lomittain (Girelli et al. 2020: 1407). 3D-mallit pystyvät mahdollistamaan uusia ja luovia lähestymistapoja tutkimuksissa, jotka ennen olisivat olleet mahdottomia toteuttaa.

5 3D-mallintaminen museoiden tehtävän tukena

Tallentaakseen ja säilyttääkseen kulttuuriperintöä museoiden ei tarvitse hyödyntää alati kehittyvää teknologiaa. Kulttuuriperinnön saavutettavuuden, tutkimuksen edistämisen, elämysten tarjoamisen, yleisötyön järjestämisen sekä opetuksen ja kasvatuksen edistämisen toteuttaminen olisi kuitenkin hankalaa toteuttaa nykyajan ihmisen vaatimusten mukaisesti ilman teknologiaa, eikä se riittäisi täysin kattamaan museolain määritelmää niiltä osin. Nykyaika mahdollistaa tiedon helpon levittämisen, joten täyttääkseen esimerkiksi saavutettavuuden ja saatavuuden edistämistehtäväänsä, on teknologian hyödyntäminen käytännössä välttämätöntä museoille. Ihmiset ovat tottuneet teknologian jatkuvaan kehitykseen ja sen läsnäoloon, jolloin museoiden on taisteltava tietotulvan kanssa ihmisten mielenkiinnon ylläpitämiseksi. Museoiden tarttuminen 3D-teknologiaan on oivallinen tapa houkuttaa yleisöä kulttuuriperinnön äärelle, sillä se on kiehtovaa ja nykyaikaista, mutta ei monelle vielä aivan arkipäiväistä.

Aineiston perusteella voin todeta, että museokentällä on haluttu ja halutaan entistä enemmän kehittää luovia tapoja hyödyntää 3D-mallintamista niin yleisötyössä kuin tutkimuksessa, ja sen koetaan lisäävän merkityksellistä sisältöä museonäyttelyihin. Aineistoa tarkasteltuani havaitsin, että museoesineen vetovoima ei kadonnut 3D-mallien vuoksi, eivätkä ne jättäneet varjoon fyysisiä esineitä. Museokävijät olivat hyvin kiinnostuneita 3D-malleista ja -teknologiasta, ja samalla he kokivat niiden lisäävän yleisesti heidän kiinnostustaan museon esittelemään aiheeseen ja esineisiin itsessään. Selkeästi yleisön mahdollisuus osallistua jollakin tavalla 3D-mallien käsittelyyn lisäsi mielenkiintoa entisestään. Teknologian avustuksella fyysisistä esineistä on mahdollista saada kiinnostavampia, ja muutoin sivuutetut museoesineet saavat mahdollisuuden nousta huomion keskipisteeksi.

Taulukossa 2 esittelen aineiston perusteella keskeisimmiksi havaitut tavat, joilla 3D-mallintaminen voi tukea museoiden toimintaa. Taulukko listaa myös yleisiä haasteita, joita aineistosta nousi esille. Taulukossa en listaa erikseen heikosta resoluutiosta johtuvia 3D-mallin tuomia haasteita, sillä vaikka ne koskevat jokaista kategoriaa, ne liittyvät erityisesti 3D-mallien valmistusprosessiin. Lisäksi 3D-teknologian käyttämisen hinta vaihtelee suuresti, ja hintaan vaikuttavat luonnollisesti haluttu lopputulos, projektin laajuus sekä käytetyt menetelmät. Hinnan suhteuttaminen toivottuun lopputulokseen voi myös olla haaste tai este toteuttamiselle projektista riippuen.

Taulukko 2. 3D-tekniikan hyötyjä ja haasteita erilaisissa museoiden osa-alueissa.

3D-tekniikkaa museoissa	Miten edistää museoiden toimintaa	Havaitut haasteet
Virtuaalitodellisuus, lisätty todellisuus ja virtuaalimuseot	<ul style="list-style-type: none"> • Museokokoelmien tuominen esille varastoista tekniikan välityksellä voi lisätä saavutettavuutta ja esteettömyyttä • Mahdollisuus nähdä eri museoiden kokoelmia ympäri maailmaa • Mahdollisuus tutustua museoihin kotona • Vuorovaikuttaminen museoesineiden kanssa 	<ul style="list-style-type: none"> • Autenttisuuden tunteen vaikea saavuttaminen • Liian suuren tavoitteen asettaminen heikentää lopputulosta • Hinta voi nousta korkeaksi esimerkiksi ammattilaisen palkkauksen myötä • Käyttämisen vaikeus eri kävijäryhmillä
3D-tulostaminen ja haptinen tekniikka	<ul style="list-style-type: none"> • Saavutettavuuden ja esteettömyyden lisääminen koskettamisen kautta, ottaa huomioon erityisesti näkövammaiset • Vuorovaikuttaminen museoesineiden kanssa lisää ymmärrystä esineiden luonteesta ja käytöstä 	<ul style="list-style-type: none"> • Pienten esineiden yksityiskohdat voivat olla vaikeita hahmottaa varsinkin haptisen tekniikan laitteen kanssa • Saavutettavuuden ja esteettömyyden lisääminen tehostuisi useamman esineen kanssa • Tulostin ei välttämättä tuota toivottua tulosta • 3D-tulostetun esineen paino voi vääristää tulkintoja
3D-mallit työpajoissa	<ul style="list-style-type: none"> • Museokävijän osallistaminen • Itseohjautuvan oppimisen kehittäminen • Osallistuminen tutkimuksen tekoon 	<ul style="list-style-type: none"> • 3D-tulostamisen hitaus
3D-mallit kokoelmanhallinnan ja -hoidon tukena	<ul style="list-style-type: none"> • Luetteloinnin ja kategorisoinnin helpottaminen tai automatisointi • Esineiden turhan koskettamisen vähentäminen, jolloin rikkoutumisen riski pienenee • Varmuuskopioiden luominen • Konservoinnin tukeminen, mahdollista tarkkailla muutoksia ajan mittaan • Poistettavan esineen mallintaminen tukee tallentamistehtävää poistonkin jälkeen 	<ul style="list-style-type: none"> • Jatkuva mallintaminen voi vaurioittaa, jos sen seurauksena esinettä pitää käsitellä paljon • Suurten kokoelmien jatkuva mallintaminen ei ole kannattavaa resurssienkaan puolesta
3D-mallit esinetutkimuksessa	<ul style="list-style-type: none"> • Tutkimuksen mahdollistaminen ilman matkustamista • Esineiden pysyvät tutkimuksessa vaurioitumatta • Mahdollisuus tutkia hauraita esineitä vapaasti 	<ul style="list-style-type: none"> • 3D-malli ei ole usein täydellinen kopio, jolloin se ei vastaa alkuperäistä vastinettaan riittävästi • Esine on voinut muuttua mallintamishetkestä, jolloin malli ei ole ajantasainen

Aineiston perusteella parhaat tavat sisällyttää 3D-mallintamista museoihin, ovat lisätty todellisuus, monipuoliset työpajat sekä 3D-tulostaminen. Luovuus ja mielikuvituksellisuus ovat avainasemassa teknologian sisällyttämisessä museoihin, ja pelkän näytöllä pyörivän 3D-mallin sijaan interaktiivisuus kiinnostaa ihmisiä enemmän. 3D-tulostetut esineet ja haptinen teknologia mahdollistavat koskettamisen, niiden antaessa yhdessä näköhavainnon kanssa selkeämmän kuvan esineen luonteesta (Dima et al 2014: 11). Saavutettavuuden ja esteettömyyden lisääminen on museoissa tärkeä osa-alue, ja nykyteknologia tarjoaa tätä varten paljon erilaisia mahdollisuuksia. Museot muun muassa lataavat kokoelmiensa esineiden 3D-malleja internetsivuilleen, jolloin museoon ei ole välttämätöntä edes matkustaa. Osassa aineiston projekteissa pyrittiin vähentämään matkustamisen tarvetta tuomalla 3D-mallien välityksellä kulttuuriperintöä ihmisten ulottuville. Havaittujen hyötyjen ohella on kuitenkin todettava, että virtuaalinen malli esineestä ei luultavasti yllä samaan, kuin mitä aito ja fyysinen kulttuuriperintöesine pystyy tarjoamaan. Aineiston perusteella parhaimmat tulokset saavutetaankin silloin, kun museokävijä pystyy tutustumaan sekä alkuperäiseen museoesineeseen että virtuaaliseen esineeseen. Mahdollisuus päästä virtuaalisesti esineen äärelle ennen ja jälkeen museovierailun, eikä ainoastaan vierailun aikana, voi parantaa potentiaalisen museokävijän todennäköisyyttä vierailla museossa, ja antaa tilaisuuden syventää museossa koettua.

Aineiston avulla havaitsin, kuinka 3D-mallintaminen lisäsi museokävijöiden kiinnostusta museoiden tarjontaan ja näyttelyihin. Tämän lisäksi asiantuntijan kanssa keskustelu oli tärkeää, jolloin teknologian käytöstä ja sen merkityksestä museoalalla sai keskustella vapaasti. 3D-mallintaminen mahdollistaa myös esineen vapaan tarkastelun, ja sen yksityiskohdat ovat nähtävissä eri suunnista, mikä on hyödyllistä varsinkin pienten museoesineiden ollessa kyseessä. Museot ovat usein himmeästi valaistuja, mikä parantaa museoesineiden säilymistä vitriineissä ja varastoissa, mutta se voi olla monelle museokävijälle riittämätön valaistus esineiden katsomiseen. 3D-mallinnetut kulttuuriperintöesineet voidaankin esittää tutkimuksessa ja näyttelyissä niin kirkkaana kuin on tarvetta, ja tällöin esineet ovat paremmin nähtävissä.

Vaikka aineisto ei pyri kattamaan kaikkia tapoja 3D-mallintamisen hyödyntämisessä, voin esittää arvioita siitä, minkälaiset 3D-malleja hyödyntävät teknologiat kiinnostavat museokävijöitä. Lisätty todellisuus, käsin kosketeltavat 3D-tulosteet ja monipuoliset työpajat, jotka sisältävät 3D-teknologiaa vaikuttavat aineiston perusteella saaneen vahvimman suosion museokävijöiltä. Myös taidokkaasti toteutettu virtuaalitodellisuus kiinnosti ja sisälsi

opetuksellista materiaalia. Autenttisuuden tunnetta usein kuitenkin rikkovat muun muassa hahmojen liikkeiden karkeus sekä ympäristön epärealistisuus (Viinikkala 2018: 62), jolloin käyttäjä ei välttämättä pysty keskittymään niin syvästi virtuaalimaailman esittelemään kulttuuriperintöön. Toisaalta historiallinen autenttisuus on läsnä 3D-mallinnetuissa museoesineissä, jotka auttavat museokävijää liittämään esimerkiksi virtuaalimuseota aitoon menneisyyteen (Viinikkala 2018: 62), jolloin hahmojen tai ympäristön karkeus voi olla paremmin siedettävissä. Realistisen vaikutelman luominen 3D-esineessä voi parantua esimerkiksi virtuaaliesineen pinnan heijastaessa ympäristöään. Tämä auttaa katsojaa tuntemaan olevansa samassa tilassa virtuaalisen tai aidon esineen kanssa (Suorsa 2017: 26).

Vaikeasti 3D-mallinnettavat materiaalit, kuten lasi ja kiiltävät pinnat (Debenjak-Ijäs 2020: 24) eivät sisällyneet aineistossa 3D-mallinnettuihin museoesineisiin. Esineitä valittiin mallinnettaviksi erilaisin perustein, mikä itsessään kertoo 3D-mallien monipuolisista käyttötarpeista. Osa valittiin siksi, että ne olivat tunnettuja museoesineitä, ja niiden saatettiin toivoa houkuttelevan yhä enemmän kiinnostuneita museokävijöitä museoihin. Tunnettujen esineiden mallintaminen saattoi johtua myös halusta lisätä kulttuuriperinnön saavutettavuutta, tunnettuutta ja tehdä esineistä tasa-arvoisemmin saavutettavia. Tutkimukseen mallinnettavat esineet saattoivat olla hauraita tai ne vaativat 3D-mallintamalla saavutettavaa apua esimerkiksi esineiden tunnistamisessa tai luokittelussa. Museoesineistä haluttiin myös tehdä virtuaalisia varmuuskopioita, joita saattoi samalla käyttää tutkimuksessa ja yleisötyössä. Usein 3D-mallinnettaviksi esineiksi valitaankin tunnettuja museoesineitä, jotka voivat tuoda museolle lisää julkisuutta (Immonen & Malinen 2021: 257). Tämä näkyi aineistossa erityisesti *Touching the Untouchable* -projektissa, jossa mallinnettiin National Museums Scotlandin tunnetuimpaan esineryhmään kuuluva artefakti. Samoin *Timeless Museum* -virtuaalimuseoprojektissa käytettiin kansainvälisesti tunnettuja esineitä. Tosin ne olivat useiden museoiden kokoelmista, mutta voi olettaa, että sen toivottiin houkuttelevan museon kävijöitä, sillä virtuaalimuseo oli käytettävissä ainoastaan museon sisällä.

Museoita ajatellen on vain järkevää, että tunnettuja esineitä mallinnetaan ja niiden avulla toivotaan lisää kävijöitä museoihin, jotka toisivat lisää tuloja. Ilmaiseksi katseltavat 3D-mallit eivät itsessään pysty tuomaan museolle tuloja, jolloin niiden toivotaan tietysti houkuttavan lisää museokävijöitä. Yleisön kannalta voi kuitenkin olla virkistävää tuoda esille niitä esineitä, jotka eivät usein pääse osaksi näyttelyitä. Kenties tuntemattomat ja harvoin nähdyt esineet houkuttavat yleisöä museoihin yhtä hyvin, sillä ne voivat saada potentiaaliset museovieraat kiinnostumaan museon monipuolisesta ja yllättävästä tarjonnasta.

Näkövammaisten museokävijöiden tapauksessa internetistä löytyvät 3D-mallit eivät välttämättä pysty tarjoamaan käyttäjälle paljonkaan, vaikka henkilö ei olisikaan sokea. Tehokas keino lisätä museoiden saavutettavuutta näkövammaisille on koskettamisen lisääminen osaksi näyttelyiden tarjontaa. 3D-teknologian puitteissa koskettamista voi tarjota sekä haptisen teknologian laitteen että 3D-tulostetun esineen välityksellä. Mahdollisena keinona on 3D-mallin hentojen yksityiskohtien korostaminen ennen tulostamista, jolloin paljaalla silmällä nähtävät piirteet tulevat paremmin havaittaviksi myös koskettamalla. Tarkan kopion koskettaminen korostetun version lisäksi antaa realistisen tunteen siitä, minkälainen esine todellisuudessa on kyseessä, vaikka esimerkiksi esineen pintamateriaali tai paino eivät todellisuutta vastaisikaan. Koskettaminen tarjoaa paljon informaatiota jokaiselle museovieraalle, eikä suinkaan vain näkövammaisille. Levent & McRainey (2014: 97) huomauttavatkin joidenkin museokävijöiden viettävän museoiden myymälöissä merkittävän kauan aikaa juuri siksi, etteivät museonäyttelyt ole tarjonneet kosketettavaa vierailun aikana. Mahdollisuus koskettaa esineitä museossa kiinnostaa ihmisiä paljon, sillä tyypillisenä ajatuksena on, että museoissa esineisiin koskettaminen on kiellettyä. 3D-tulostaminen ja haptinen teknologia voivat auttaa vanhojen käsitysten muuttamisessa, samalla kun ne pyrkivät pitämään museoesineet turvassa liialliselta koskettamiselta.

3D-teknologia pystyy tehokkaasti tukemaan museoiden toimintaa ja niille määrättyjä osa-alueita, jos se on toteutettu taidokkaasti. Toimivaan lopputulokseen ei kuitenkaan riitä pelkkä hyvä idea tai kauniin näköinen toteutus. Yksi haastavimmista 3D-mallintamisen hyödyntämistavoista museokentällä vaikuttaa olevan laadukkaan virtuaalitodellisuuden tai virtuaalimuseon toteuttaminen, jossa autenttisuuden tunne on erityisen tärkeässä roolissa. Näissä liian suuren palan haukkaaminen on todellinen riski, eikä lopputulos välttämättä vastaa toiveita. 3D-teknologian hyödyntämisessä museoissa on tästä syystä tärkeää kysyä, miksi esineitä mallinnetaan, ja mitä lopputuloksella halutaan saavuttaa. Huolellinen suunnittelu varmistaa sen, että 3D-mallintamista ei tehdä turhaan (Debenjak-Ijäs 2020: 21), eikä siihen kuluteta tarpeettomasti resursseja. Esimerkiksi näyttelykäyttöön tarkoitettuja 3D-malleja ei voi mallintamisen jälkeen välttämättä käyttää tutkimuksessa, jos mallien laatu ei vastaa sitä, mitä tutkimuksessa tarvittaisiin. 3D-mallien laadun määrittäviä tekijöitä on hankalaa muuttaa jälkikäteen (Debenjak-Ijäs: 2020: 21), minkä vuoksi lopullisia käyttötarkoituksia ei voi välttämättä päättää myöhemmin. Osassa aineiston projekteissa pyrittiinkin siihen, että 3D-malleja saattoi käyttää tarvittaessa sekä näyttelyissä että tutkimuksessa. Vaikka tutkimuskäyttöön tarvittavien mallien teko vaatii mallintamisprosessilta enemmän, on se

kuitenkin järkevämpää tehdä heti huolella, kuin että esineitä mallinnettaisiin myöhemmin uudelleen. Aina hyvin tarkkojen 3D-mallien luomiseen ei välttämättä ole resursseja, jolloin yksinkertaisemmat mallit yleisötyössä voivat olla täysin riittäviä ja tehtävänsä mainiosti täyttäviä. Tärkeintä onkin tietää 3D-mallintamista suunnitellessa, miksi esineitä 3D-mallinnetaan ja mitä tarkoitusta varten niitä aiotaan käyttää museoissa.

3D-teknologian hyötyjen ollessa toisinaan jopa merkittäviä, siihen voidaan suhtautua myös kriittisesti. Tutkimuksellani pyrin vahvistamaan käsitystä siitä, kuinka 3D-mallintamisen tulisi olla vain tuki fyysisille museokokoelmille, eikä asettaa esinekkökoelmia negatiiviseen valoon tai vähentää niiden merkitystä. Sen ei tulisi viedä huomiota alkuperäisiltä esineiltä, eikä se suinkaan oikeuta museoita toteuttamaan harkitsemattomia poistoja sen varjolla, että esineestä jäisi jäljelle virtuaalinen kopio. Teknologioita museonäyttelyihin lisättäessä on tietysti erityisen tärkeää, että lisäystä ei tehdä vain teknologian vuoksi, ja sen tuomat mahdolliset hyödyt kyseenalaistetaan, ennen kuin niiden eteen toimitaan (Cameron & Robinson 2007: 178). Lisäksi on kyseenalaistettava mallintamisen tuoma hyöty itse esineille, vaikka sen suurena tarkoituksena onkin suojella ja tallentaa esineitä. 3D-mallintaminen ei välttämättä lopulta pysty vähentämään esineiden koskettamista, vaan voi joissain tapauksissa jopa lisätä sitä, kun esineitä täytyy mallintaa uudelleen esineissä ajan myötä tapahtuvien muutosten vuoksi (Immonen & Malinen 2021: 257). Myöskään 3D-mallien säilyttäminen ei ole ilmasto- ja energiankulutusta ajatellen tehokasta, sillä mallien säilyttäminen vaatii paljon energiaa, jos suurikokoisia tiedostoja säilytetään pilvipalveluissa (Immonen & Malinen 2021: 261). Jos mallintamisella koitetaan vähentää esimerkiksi matkustamisen tarvetta tuomalla museoesineet ihmisten ulottuville, voivat säilyttämisen aiheuttamat ilmastovaikutukset olla kuitenkin huomattavat. Mallintamisen hyödyt eivät välttämättä ole niin mustavalkoisia, kuin joskus tuntuu esitettävän.

3D-teknologia voi herättää pelkoa siitä, kuinka sen avulla ei pystyttäisi välittämään museokävijälle samoja asioita, kuin niin sanotuissa perinteisissä museoissa, ja samalla voi kyteä ajatus siitä, että teknologia vieraannuttaisi ihmisiä museoista (Cameron & Robinson 2007: 179). On kuitenkin muistettava, kuinka paljon museot ovat muuttuneet esimerkiksi sadan vuoden sisällä, joten perinteisestä museosta tuskin voidaan puhua, ellei aiota palata puhtaasti typologisiin näyttelyihin. Mikään ei myöskään museoissa pysy muuttumattomana, vaikka usein ihminen huomaakin muutoksen edessä pitävänsä entistä asiaa parempana, tuntematonta peläten. Tällainen pelko on toki ymmärrettävää, varsinkin jos tiedostaa sen, kuinka usein kuvat vääristävät totuutta jopa tarkoituksella, joten mikä estäisi sen, ettei 3D-mallinnettu esine valehtelisi katsojalle (Cameron 2007: 51)? Museoiden läpinäkyvän tiedon esittämisen vuoksi

on mainittava, jos museokävijälle näytettävä 3D-malli on tulkintaa, tai se ei jostakin syystä vastaa alkuperäistä esinettä, jolloin pelko esineen valehtelusta lievenee. Digitaalisuutta tai 3D-teknologiaa ei pitäisi nähdä uhkana kulttuuriperinnölle. Kulttuuriperintökään ei ole muuttumaton asia, vaan se mukautuu alati muuttaen merkityksiään (Tuomi-Nikula 2013: 20).

Virtuaalimuseoiden ja 3D-mallinnettujen museoesineiden nykytilaa tarkastellessa ei uskoakseni tarvitse olla peloissaan siitä, että fyysiset esinekokoelmat tulisivat tarpeettomiksi, enkä oleta asian muuttuvan ongelmaksi myöhemminkään. Museo on museo siksi, että siellä on esineitä, vaikka esinekokoelmat eivät vielä itsessään tee museota (Kostet 2009: 137). En haluaisi uskoa konkreettisten ja aitojen museoesineiden olevan koskaan tarpeettomia, sillä ihminen kaipaa konkretiaa elämäänsä. Pelko 3D-teknologian kyvystä syrjäyttää fyysiset museot ja museoesineet on hyvä tiedostaa, sillä sen avulla pystymme välttämään harkitsemattomia ratkaisuja, kuten esimerkiksi museoesineiden poiston liian löyhin perusteluin.

Poisto on yksi museoiden haastavimmista tehtävistä, sillä se pitää sisällään valtavan vastuun siitä, mitä koetaan tarpeettomaksi myös tulevaisuudessa. Museot pitelevät käsissään valtaa siitä, mikä koetaan muistamisen arvoiseksi, ja mikä saa unohtua (Vilkuna 2009: 21). Poistot ovat tärkeä osa museoiden kokoelmienhallintaa, ja hyvin hoidettu tallennusvastuujako museoiden kesken ainakin periaatteessa takaa sen, että museoiden kokoelmissa on vain kullekin museolle tarpeellisia esineitä kokoelmissaan (Kostet 2000: 125). Näin voidaan teoreettisesti välttyä turhilta poistoilta. Ennen poistoa museoiden tulisi myös tarjota esinettä muille museoille, kunhan se on riittävän hyvässä kunnossa uuteen kokoelmaan tallennettavaksi (Kostet 2000: 130). Vaikka poisto on hankala kysymys ja ratkaisu esineen tuhoamisesta on lopullinen, 3D-mallintamalla esineen kolmiulotteinen muoto on mahdollista tallentaa, jolloin sitä voi parhaassa tapauksessa käyttää jopa tutkimuksessa, ja esineen olemassaolo jatkuu edes virtuaalisessa muodossa. 3D-malli on näin ollen joissakin tapauksissa ainoa vaihtoehto tutkimukselle, varsinkin kun esinettä ei enää ole fyysisesti olemassa. Ei voida olettaa, että kaikki museoiden esineet saisivat 3D-malleista varmuuskopion, mutta ainakin poistettavissa esineissä tälle on tarvetta.

Valtavien museoesinekokoelmien 3D-mallintaminen ei olisi myöskään realistista, sillä esineitä täytyy mallintaa uudelleen niiden ajan myötä tapahtuvien muutosten vuoksi, jolloin työmäärä olisi valtava ja epärealistinen. Myös mallintamiskustannukset nousisivat työmäärän ja teknologian kehittymisen seurauksena. Esimerkiksi kalliit laserskannerit voivat käydä nopeasti vanhanaikaisiksi, jolloin museo olisi uuden hankinnan edessä (Immonen & Malinen 2021: 256).

Tämän sijaan fotogrammetriaan panostaminen voi olla taloudellisempi ratkaisu, sillä laadukkaalla kameralla otetut kuvat kestävät aikaa, ja vanhat kuvat toimivat kehittyvissä fotogrammetriaohjelmissa. 3D-mallien teossa käytettyä dataa olisikin hyvä säilyttää myös tulevaisuuden varalle, sillä niiden avulla voi luoda parempia malleja myöhemmin kehittyneemmällä teknologialla, vaikka tämäkin vie tallennustilaa ja kuluttaa resursseja (Immonen & Malinen 2021: 261).

Vaikka elämme teknologian ympäröiminä, sen luonteva käyttäminen voi olla aivan eri asia, joka puolestaan on täysin riippuvaista jokaisen käyttäjän lähtökohdista. Tämän vuoksi ei tule olettaa, että museokävijä osaisi käyttää 3D-teknologiaa sisältävää näyttelymateriaalia ilman selkeitä ohjeita. Kuten yllä mainitsin, on myös mahdollista, että 3D-teknologiaan suhtaudutaan ennakkoluuloisesti. Myös museoiden henkilökuntien taidot 3D-mallintamisen saralla vaihtelevat suuresti, ja moni joutuu aloittamaan mallintamisen ilman aiempaa kokemusta aiheesta. Tällöin paras tapa sen lisäämiseksi osaksi museoita on mielestäni tehdä toteutus, joka on jo todistetusti toimiva, ja sen toteutustavat tiedetään ja sitä voidaan jäljitellä. Vaihtoehtona on myös ostaa ulkopuoliselta toimijalta palvelu, joka tuottaa museolle toivotun materiaalin, jolloin toteutuksen laatu ei riipu museohenkilökunnan tietoteknisestä osaamisesta. Kalliiden mallintamislaitteiden hankkiminen voi myös olla turhaa, jos vain joitain esineitä aiotaan mallintaa, tai mallintamisen tarve on satunnaista (Immonen & Malinen 2021: 225). Ulkopuolisen palvelun ostamisessa on muistettava, että museo ei ehkä voi valvoa koko mallintamisprosessia, eikä ulkopuolisella taholla ole välttämättä tarvittavaa tietotaitoa museoesineiden käsittelyyn (Immonen & Malinen 2021: 225).

Resurssien ollessa vähäisiä on turvallisinta tehdä toteutus realistisin lähtökohdin. Tämän vuoksi on todella tärkeää, että museot kertovat avoimesti hyödyntämistään 3D-tekniikoista, ja kuinka niitä on käytetty osana museotyötä. Aineistossa monen eri projektin tai tutkimuksen alla kerrottiin tarkasti, millä tekniikoilla 3D-mallit oli luotu, kuinka niitä käsiteltiin, ja mitä niiden kanssa lopulta tehtiin. Näin jokaisen museon ei tarvitse keksiä itse alusta saakka, mitä kaikkea 3D-malleilla voikaan museoissa tehdä, eikä kaikkia virheitä ja haasteita tarvitse kokea henkilökohtaisesti. Aineistossa suurimmat haasteet 3D-malleissa koskivat mallintamiskaluston heikoksi havaittua laatua tai tavoitteeksi oli valittu liian haastava lopputulos, mutta suurin osa aineiston tutkimuksista tai projekteista onnistuivat joko odotetusti tai jopa paremmin kuin oli uskallettu toivoa, sillä tavoitteet oli asetettu realistiselle tasolle. Liian monimutkaisen projektin toteuttaminen voi johtaa pettymykseen, ja kenties asettaa 3D-mallintamisen museoissa huonoon valoon, jos sen seurauksena uusiin mallintamisyrittäisiin ei ole aikaa tai varoja.

3D-mallintaminen pystyy tukemaan museoiden toimintaa lukuisilla eri tavoilla, jotka auttavat museoita myös täyttämään museolain määrittelemiä tehtäviä. Museo voi silti olla nykyaikainen ja toimiva, vaikka siellä ei olisikaan 3D-malleja, mutta niiden avulla museosta voi tehdä monipuolisemman, samalla houkuttellen museokävijöitä eri kohderyhmistä. 3D-mallintaminen tuntuu kiinnostavan museokävijöitä iästä riippumatta, mutta se saattaa houkuttaa varsinkin lapsia ja nuoria tutustumaan kulttuuriperintöön suuremmalla mielenkiinnolla. Kun 3D-mallintamiselle on asetettu tarkat tavoitteet ja tiedostetaan, miksi esineitä mallinnetaan ja mitä sillä halutaan saavuttaa, haluan rohkaista tarttumaan kulttuuriperinnön 3D-mallintamiseen rohkeasti ja ennakkoluulottomasti, sillä sen käyttömahdollisuudet ovat lukuisat tutkimuksesta yleisötyöhön ja kokoelmienhallintaan. Teknologian kehittyessä 3D-mallintamisen hyödyntäminen museokentällä tulee luultavasti yleistymään ja helpottumaan tiedon ja kokeilevien projektien myötä. 3D-mallit kykenevät parhaimmillaan palauttamaan kadotettuja tai ryöstettyjä kulttuuriperintöesineitä kotimaahansa, ne lisäävät ihmisten kiinnostusta kulttuuriperintöä kohtaan ja voivat saada museokävijän pohtimaan jopa omaa identiteettiään menneisyyden jatkumossa. 3D-tekniikan edesauttaa kulttuuriperinnön saavutettavuutta tukien positiivisesti kulttuuriperintötyötä (Quattrini et al. 2020: 10). 3D-mallintamisen avulla yleisöä voi osallistaa nykyaikaisilla ja arjesta poikkeavilla tavoilla. Se saattaa houkuttaa museoon kohderyhmiä, jotka eivät tavallisesti käy museoissa, samalla tukien laadukasta opetuksellista sisältöä. 3D-mallintaminen pystyy suojelemaan kulttuuriperintöä virtuaalisten varmuuskopioiden muodossa, vähentäen museoesineiden liiallisen käsittelyn tarvetta, samalla mahdollistaen virtuaalisessa muodossa olevan 3D-esineen palauttamisen fyysiseen muotoonsa. Laadukkaasti toteutettu 3D-mallintaminen toimii fyysisten esineiden rinnalla ja tukena, auttaen yhteisöjä turvaamaan museokokoelmien ikuisuuden tavoittelua.

6 Yhteenveto

Tutkielman tarkoituksena oli tarkastella kulttuurihistoriallisten museoiden 3D-mallinnettujen esineiden käyttötapoja, ja selvittää mitkä toteutustavat toimivat hyvin osana museoiden tehtävää, sekä mitkä seikat voidaan kokea haasteina. Pysin esittelemään runsaasti erilaisia tapoja käyttää 3D-mallintamista osana museoiden toimintaa, mikä antaa käsitystä siitä, kuinka monipuolinen lisää 3D-teknologia parhaimmillaan on museoalalla. Tutkimukseni aineisto koostui tieteellisistä artikkeleista, jotka käsittelivät projekteja tai tutkimuksia, joissa 3D-mallintamista sovelletaan eri tavoin kulttuurihistoriallisissa museoissa tai niiden kokoelmien parissa. Artikkelit sisältävät 3D-mallintamisen ja -teknologian käyttöä tutkimuksessa, kokoelmienhallinnassa ja yleisötyössä, esimerkiksi virtuaali- ja lisätyn todellisuuden, virtuaalimuseoiden, työpajojen ja osallistavien näyttelyiden muodossa.

3D-mallintaminen tukee museoiden tehtävää ja toimintaa, ja se voi parantaa jopa museon imagoa toteutuksen ollessa taidokas ja yleisöä kiinnostava. Museolaissa määritellään museoiden tehtävät, ja aineistoni perusteella kulttuuriperintöesineiden 3D-mallintaminen auttaa tehtävien täyttämässä. Museot tietysti pystyvät toimimaan museolain edellyttämällä tavoilla ilman 3D-mallintamista, mutta esimerkiksi tiedon käytön saatavuuden ja saavutettavuuden edistäminen sekä elämysten tarjoaminen ja vuorovaikuttaminen nyky maailman ihmisen standardien mukaisesti onnistuu teknologian avulla tehokkaammin ja suureen yleisöön vetoavasti. Lisäksi valtioiden rajojen ylittävä esinetutkimus mahdollistuu paremmin, kun laadukkaita 3D-malleja voi tarkastella missä ja koska tahansa. Laadukkaalla 3D-mallintamisella on mahdollista jopa pyrkiä vähentämään matkustuksen tarvetta, jos realistisen tuntuisiin 3D-esineisiin, virtuaalimuseoihin ja virtuaalitodellisuuden sovelluksiin voi tutustua museoista tai jopa kotoa käsin. 3D-mallintaminen on museoalalla jatkuvassa nousussa oleva ilmiö, joka lisää jokaisen mahdollisuutta päästä saavutettavamman kulttuuriperinnön äärelle.

Museoesineitä mallinnetaan eri perustein, kuten esineen haurauden tai tunnettuuden perusteella. Hauraat esineet voidaan haluta varmuuskopioida 3D-mallintamalla, jolloin virtuaalinen kopio mahdollistaa esineen rekonstruktion valmistamisen tai tutkimisen, jos esine tuhoutuisi. 3D-mallintamalla voidaan varautua myös kokoelmia kohtaaviin ennalta arvaamattomiin onnettomuuksiin. Museot saattavat 3D-mallintaa niin maailmankuuluja esineitä kuin omien kokoelmiensa tunnetuimpia esineitä, mikä voi houkuttaa suurempia kävijämääriä museoihin. 3D-mallintaminen ei kuitenkaan kohdistu vain hauraimpiin ja tunnetuimpiin museoesineisiin, vaan museot mallintavat niitä esineitä, jotka tukevat niiden toivomaa tarkoitusta. Aineiston

perusteella museovieraita kiinnostaa erityisesti 3D-mallintamisen teknologiat esimerkiksi työpajoissa, 3D-tulostamisen ollessa jännittävä lisä mahdollisen kotiin vietävän tulinäyttelyn muodossa. Lisätty todellisuus ja virtuaalitodellisuus lisäävät näyttelyiden interaktiivisuutta, ja se kiinnostaa kaikkia ikäryhmiä. 3D-teknologia voi myös innostaa lapsia ja nuoria museovierailusta enemmän kuin ilman teknologiaa. Museoiden internetiin lataamat 3D-esineet myös antavat kaivatun mahdollisuuden tutustua museon kokoelmiin ennen tai jälkeen museokäynnin. 3D-mallintaminen ei vie huomiota pois alkuperäiseltä museoesineeltä, ja se vaikuttaa kiinnostavan ihmisten huomion enemmän mallinnuksen kohteena olevaan esineeseen. Museovieraat voivat kokea pääsevänsä lähemmäksi menneisyyttä vapaasti tarkasteltavan 3D-mallin avulla, jolloin vitriinissä olevaa esinettä voidaan katsoa eri näkökulmista. Parhaimmillaan mallintaminen auttaa museokokoelmien pieniä esineitä saamaan arvoisensa huomion niiden saattaessa muuten jäädä suurempien esineiden varjoon. Hyvä lopputulos on mahdollista saavuttaa, kun 3D-mallien teko ja käyttö on harkittua ja perusteltua.

Kaikista hyvistä puolista huolimatta 3D-mallintamisessa on haasteensa, jotka voivat vaikuttaa merkittävästi mallien lopputulokseen ja käyttötarkoitukseen. Suurimmiksi haasteiksi nousivat 3D-mallintamislaitteiston heikko laatu, jolloin 3D-malleja ei voitu käyttää toivotulla tavalla. Vaikka nykyteknologian avulla 3D-mallin luominen ja jälkikäsittely on suhteellisen helppoa, liian haastavan lopputuloksen tavoittelemisen ei ole eduksi 3D-malleille eikä museon ammattitaitoiselle imagolle. Tämä riski on erityisen suuri virtuaalimuseoita ja virtuaalitodellisuuksia tehtäessä, jolloin realistinen ympäristö luo suuren osan toteutuksen tunnelmaa. Jos lopputulos on kömpelö tai menneiden vuosikymmenten virtuaalimuseoita vastaava, toteutus vie huomiota pois sisällöstä. Onneksi 3D-mallintamista ja niiden käsittelyä varten on mahdollista ostaa palveluja ulkopuolisilta toimijoilta, jolloin museohenkilökunnan taidot eivät rajoita 3D-mallintamisen sisällyttämistä osaksi museoiden toimintaa. Kalliilta hankinnoilta voidaan myös välttyä vuokraamalla välineistöä, tai tilaamalla 3D-tulosteita erikoistuneilta yrityksiltä. Tällöin on myös mahdollista kokeilla mahdollisesti museon tarpeisiin parhaiten sopivaa välineistöä, ja virrehankintoja voidaan minimoida. Ulkopuolisilta toimijoilta palveluita hankittaessa tulee kuitenkin muistaa, että 3D-mallintamisprosessia ja museoesineiden käsittelyä ei välttämättä voida valvoa riittävästi. 3D-mallinnettaessa on myös pyrittävä ottamaan huomioon mallien pitkäaikaissäilytyksen aiheuttama energiankulutus, joten myös tämän vuoksi mallintamisella on oltava hyvä syy.

Tutkimukseni aineisto ei ollut laaja, vaikka se käsittelikin runsaasti eri tapoja soveltaa 3D-mallintamista osana museoiden toimintaa. Kuitenkin koen, että aineisto sopi tämän kokoiseen

tutkimukseen hyvin, ja antoi selkeän kuvan siitä, minkälaiset mahdollisuudet 3D-mallintamisen käytöllä on kulttuurihistoriallisissa museoissa, ja miten sitä voi soveltaa yhä eteenpäin. Aineisto valottaa hyvin sitä, kuinka monipuolista 3D-mallintamisen hyödyntäminen voi olla, sen sopiessa minkä kokoiseen museoon tahansa. Kun 3D-mallintamisprosessi ja mallien lopullinen käyttötarkoitus on huolellisesti suunniteltu, jokainen museo voi toteuttaa juuri resursseihinsa soveltuvan 3D-mallintamista käyttävän toteutuksen. Tämän tutkimuksen pohjalta olisi kiinnostavaa toteuttaa museoihin kohdistuva kyselytutkimus, joka antaisi tarkempaa tietoa esimerkiksi yleisön mieltymyksistä. Tutkimus voisi kohdistua myös kapeampaan osa-alueeseen, kuten 3D-tulostamiseen museoissa, jolloin tulokset olisivat objektiivisempia. Tulevaisuudessa 3D-malleista tulee luultavimmin vielä enemmän arkipäivää, ja niiden teko helpottuu, sekä ratkaisut 3D-mallien hyödyntämiseen museoissa luultavasti vakiintuvat.

Lähdeluettelo

Painamattomat lähteet

- Kivioja, T. 2014. *Kyberarkeologisen museotyön haasteet ja mahdollisuudet. Tapausesimerkinä ”Keski-suomalaista elämää rautakaudella” -näyttelysuunnitelma.* Oulun yliopisto, arkeologian pro gradu -tutkielma.
- Suorsa, T. 2017. *Digitoitu maito ei valu – digitaalisuus ja aineellisten museoesineiden materiaalisuus, aika ja suhde museokävijään.* Turun yliopisto, digitaalisen kulttuurin pro gradu -tutkielma.

Painetut ja sähköiset lähteet

- Aalto-yliopisto 2019. Kun kulttuurikohde tuhoutuu, 3D-digiarkisto auttaa jälleenrakentamisessa. *Aalto-yliopiston internetsivut.* [https://www.aalto.fi/fi/uutiset/kun-kulttuurikohde-tuhoutuu-3d-digiarkisto-auttaa-jalleenrakentamisessa]. Haettu 25.1.2022.
- Aiello, D., Fai, S. & Santagati, G. 2019. Virtual Museums as a Means for Promotion and Enhancement of Cultural Heritage. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Vol. XLII-2/W15. 33–40.
- Asano, T. & Ishibashi, Y. 2004. Adaptive display control of exhibits in a distributed haptic museum. *The 3rd IEEE International Workshop on Haptic, Audio and Visual Environments and Their Applications.* 19–23.
- Bacci, F. & Pavani, F. 2014. “First Hand”, Not “First Eye” Knowledge. Bodily Experience in Museums. In Levent, N. & Pascual-Leone, A. (Eds.) *The Multisensory Museum: cross-disciplinary perspectives on touch, sound, smell, memory, and space.* Rowman & Littlefield Publishers, USA. 17–28.
- Ballarin, M., Balletti, M. & Vernier, P. 2018. Replicas in Cultural Heritage: 3D Printing and the Museum Experience. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Vol. XLII-2. 55–62.
- Baltsavias, E. P. 1999. A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.* Vol. 54 (2). 83–94.

- Biasotti, S., Cerri, A., Falcidieno, B. & Spagnuolo, M. 2015. 3D artifacts similarity based on the concurrent evaluation of heterogeneous properties. *Journal on computing and cultural heritage*, Vol.8 (4). 1–19.
- Bruno, F., Bruno, S., De Sensi, G., Luchi, M.-L., Mancusco, P. & Muzzupappa, M. 2010. From 3D reconstruction to virtual reality: A complete methodology for digital archaeological exhibition. *Journal of Cultural Heritage*. Vol. 11. 42–49.
- Cameron, F. 2007. Beyond the Cult of the Replicant: Museums and Historical Digital Objects—Traditional Concerns, New Discourses. In Cameron, F. & Kenderdine, S. (Eds.) *Theorizing Digital Cultural Heritage: A Critical Discourse*. The MIT Press. London. 49–76.
- Cameron, F. & Robinson, H. 2007. Digital Knowledgescapes: Cultural, Theoretical, Practical, and Usage Issues Facing Museum Collection Databases in a Digital Epoch. In Cameron, F. & Kenderdine, S. (Eds.) *Theorizing Digital Cultural Heritage: A Critical Discourse*. The MIT Press. London. 165–192.
- Cardaci, A. & Versaci, A. 2013. Image Based 3D Modeling vs Laser Scanning for the Analysis of Medieval Architecture: The Case of St. Croce Church in Bergamo. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XL-5/W2. 155–159.
- Cooper, J. P., Wetherhelt, A., Zazzaro, C. & Eyre, M. 2018. From Boatyard to Museum: 3D laser scanning and digital modelling of the Qatar Museums watercraft collection, Doha, Qatar. *International Journal of Nautical Archaeology*. Vol 47. 419–442.
- Coughlan, J. M., Miele, J. 2017. AR4VI: AR as an Accessibility Tool for People with Visual Impairments. *IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. 288–292.
- Counts, D. B., Averett, E. W. & Garstki, K. 2016. A fragmented past: (re)constructing antiquity through 3D artefact modelling and customised structured light scanning at Athienou-Malloura, Cyprus. *Antiquity*. Vol. 90 (349). 206–218.
- CSC 2019. *Sanasto*. [<https://digitalpreservation.fi/specifications/sanasto>]. Haettu 21.2.2022.

- Di Angelo, L., Di Stefano, P. & Pane, C. 2017. Automatic Dimensional Characterisation of Pottery. *Journal of Cultural Heritage*. Vol. 26. 118–128.
- Di Franco, P. D. G., Camporesi, C., Galeazzi, F. & Kallmann, M. 2015. 3D Printing and Immersive Visualization for Improved Perception of Ancient Artifacts. *Presence*. Vol. 24 No. 3. The Massachusetts Institute of Technology. 243–264.
- Dima, M., Hurcombe, L., Wright, M. 2014. Touching the Past: Haptic Augmented Reality for Museum Artefacts. *Virtual, Augmented and Mixed Reality. Applications of Virtual and Augmented Reality*. Vol. 8526 (2). 3–14.
- Debenjak, A. 2015. 3D-mallintaminen osana arkeologista arkea? Digitaalisen fotogrammetrian käyttö arkeologisessa dokumentoinnissa ja tutkimuksessa. *Muinaistutkija* 1/2015. 24–34.
- Debenjak-Ijäs, A. 2020. Arkeologisten kokoelmien 3D-digitointi. *Karhunhammas* 20. Arkeologia, Turun Yliopisto.
- Debenjak-Ijäs, A. & Maaranen, N. 2020. Luuaineistojen 3D-digitointi tuo aineistot tutkimuksen ja opetuksen saataville. *Arkeologisen verkkojulkaisu Kalmistopiirin internetsivut*. [<https://kalmistopiiri.fi/2020/09/09/luuaineistojen-3d-digitointi-tuo-aineistot-tutkimuksen-ja-opetuksen-saataville/>]. Haettu 17.1.2022.
- Digimuseo 2022. Sisäänkäynti kotisohvillasi. *Digimuseon internetsivut*. [<https://digimuseo.fi/>]. Haettu 22.1.2022.
- Finna 2022. *Hakupalvelu Finnan internetsivut*. [<https://www.finna.fi/>]. Haettu 26.1.2022.
- Flynt, J. 2020. Structured Light 3D Scanning: What Is It and How Does It Work? *3D InsiderWebsite*. [<https://3dinsider.com/structured-light-3d-scanning/>]. Haettu 17.1.2022.
- Epic Games 2022. *Unreal Engine 3D-alustan kotisivut*. [<https://www.unrealengine.com/>]. Haettu 4.1.2022.

- European Commission 2020. The Expert Group on Digital Cultural Heritage and Europeana has been tasked by the member states to contribute to the development of guidelines on 3D cultural heritage assets. *European Commission Website*. [<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/basic-principles-and-tips-3d-digitisation-cultural-heritage>]. Haettu 24.1.2022.
- Garstki, K. 2017. Virtual Representation: The Production of 3D Digital Artifacts. *Journal of Archaeological Method and Theory*. Vol. 24, Iss. 3. New York. 726–750.
- Gebhardt, A. 2019. *3D printing: understanding additive manufacturing*. Hanser Publishers, Cincinnati.
- Girelli, V. A., Tini, M. A., D'Apuzzo, M. G. & Bitelli, G. 2020. 3D Digitisation in Cultural Heritage Knowledge and Preservation: the Case of the Neptune Statue in Bologna and its Archetype. *International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences* Vol. XLIII-B2-2020. 1403–1408.
- Evgenikou, V. & Georgopoulos, A. 2015. Investigating 3D reconstruction methods for small artifacts. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. 40 (5). 101–108.
- Heiska, N. 2009. Aboa Vetuksen raunioiden laserkeilaus. Mittaustekniikan uudet mahdollisuudet kulttuuriperinnön dokumentoinnissa. Teoksessa Muhonen, T. & Lehto-Vahtera, J. (toim.). *Ikuinen raunio*. Aboa Vetus & Ars Nova / Matti Koivurinnan säätiö. Raisio. 86–94.
- Helmet 2021. Kotisohvalta museoon. *Pääkaupunkiseudun yleisten kirjastojen kirjastoverkko Helmetin internetsivu*. [[https://www.helmet.fi/fi-FI/Tapahtumat_ja_vinkit/Vinkit/Kotisohvalta_museoon\(209362\)](https://www.helmet.fi/fi-FI/Tapahtumat_ja_vinkit/Vinkit/Kotisohvalta_museoon(209362))]. Haettu 23.2.2022.
- Hyungsoo Jung, T. & tom Dieck, M. C. 2017. Augmented reality, virtual reality and 3D printing for the co-creation of value for the visitor experience at cultural heritage places. *Journal of Place Management and Development*. Vol. 10, No. 2. 140–151.
- ICOM 2021. Museum Definition. *The Website of International Council of Museums*. [<https://icom.museum/en/resources/standards-guidelines/museum-definition/>]. Haettu 21.12.2021.

- Immonen, V. & Malinen, I. 2021. 3D Imaging in Museums. In Robbins, N., Thomas, S., Tuominen, M. & Wessman, A. (eds.) *Museum Studies – Bridging Theory and Practice*. ICOFOM, University of Jyväskylä. 253–270.
- Jansson, G. & Bergamasco, M. & Frisoli, A. 2003, A new option for the visually impaired to experience 3D art at museums: manual exploration of virtual copies. *Visual Impairment Research* Vol. 5 (1). 1–12.
- Jiménez Fernández-Palacios B. & Rizzi Remondino F. 2013. The Etruscans in 3D. Surveying and 3D modeling for a better access and understanding of heritage. *Virtual Archaeology Review*. Vol. 4. 85–89.
- Katz, J. & Tokovinineb, A. 2017. 3D: An Introduction. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. Vol. 6. 1–3.
- Keene, S. 2012. *Managing Conservation in Museums*. Routledge, London.
- Kostet, J. 2000. Poiston problematiikkaa. *Aboa 1999–2000*. Turun Maakuntamuseon vuosikirja. Vammala. 124–131.
- Kostet, J. 2009. Kokoelmien muodostuminen. Teoksessa Kinanen, P. (toim.) *Museologia tänään*. Suomen museoliiton julkaisuja 57. Suomen museoliitto, Jyväskylä. 136–160.
- Krupińska, B., Van Grieken, R. & De Wael, K. 2013. Air quality monitoring in a museum for preventive conservation: Results of a three-year study in the Plantin-Moretus Museum in Antwerp, Belgium. *Microchemical Journal* 10. 350–360.
- Kuzminsky, S. C. & Gardiner, M. S. 2012. Three-dimensional laser scanning: potential uses for museum conservation and scientific research. *Journal of Archaeological Science*. Vol. 39, No. 8. 2744–2751.
- Lapp, E. & Nicoli, J. 2014. Exploring 3D modeling, fingerprint extraction, and other scanning applications for ancient clay oil lamps. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 1. 34–44.
- Levent, N. & McRainey, D. L. 2014. Touch and Narrative in Art and History Museums. In Levent, N. & Pascual-Leone, Al. (Eds.) *The Multisensory Museum: cross-disciplinary*

- perspectives on touch, sound, smell, memory, and space*. Rowman & Littlefield Publishers, USA. 68–85.
- Marshall, M.E., Summerskill, S.J., Baird, Q. & E. Esteban 2019. Automating Photogrammetry for the 3D Digitisation of Small Artefact Collections. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XLII-2/W15. 751–757.
- Mason, A. 2013. *Making 3D Models with Photogrammetry. Getting Started with Agisoft PhotoScan*. Carleton College.
[<https://thehaskinssociety.wildapricot.org/resources/Documents/Tutorials/PhotogrammetrywithPhotoScanTutorial.pdf>]. Haettu 18.2.2022.
- Mathys, A., Jadinon, R., Hallot, P. 2019. Exploiting 3D Multispectral Texture for a Better Feature Identification for Cultural Heritage. *The International Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Vol. IV-2/W6. 91–97.
- Metallo, A. & Rossi, V. 2011. The Future of Three-Dimensional Imaging and Museum Applications: 3D Imaging and Museums. *Curator The Museum Journal*. Vol. 54 (1). 63–69.
- Molloy, B. & Milić, M. 2018. Open Archaeology 2018. Wonderful Things? A Consideration of 3D Modelling of Objects in Material Culture Research. *Open Archaeology*. Vol. 4 (1). 97–113.
- Museolaki 314/2019. [<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2019/20190314>]. Haettu 21.12.2021.
- Museovirasto 2020. Ruotsinsalmen hylkyjä 3D-malleina kaikkien nähtäville. *Kansallismuseon internetsivut*.
[<https://www.kansallismuseo.fi/fi/ajankohtaista/ruotsinsalmen-hylkyja-3d-malleina-kaikkien-nahtaville>].
- Neiß, M., Sholts, S. B. & Wärmländer, S. K. T. S. 2014. New applications of 3D modeling in artefact analysis: three case studies of Viking Age brooches. *Archaeological and anthropological sciences* Vol.8 (4). 651–662.

- Museo Leikki 2020. Lelumuseo Hevosenkengän ensimmäiset 3D-mallinnokset on nyt julkaistu. *Museo Leikin internetsivut*. [<https://museoleikki.fi/3d-mallinnos/>]. Haettu 14.1.2022.
- Opetus- ja kulttuuriministeriö 2018. OKM myönsi avustuksia museokokoelmien digitointiin 3D-tekniikalla. *Opetus- ja kulttuuriministeriön internetsivut*. [<https://okm.fi/-/okm-myynsi-avustuksia-museokokoelmien-digitointiin-3d-tekniikalla>]. Haettu 21.12.2021.
- National Museums Scotland 2021. The Lewis chess pieces. *National Museums Scotland Website*. [<https://www.nms.ac.uk/explore-our-collections/stories/scottish-history-and-archaeology/lewis-chess-pieces/>]. Haettu 26.1.2022.
- Neamțu, C., Comes, R. & Popescu, D. 2016. Methodology to Create Digital and Virtual 3D Artefacts in Archaeology. *Journal of Ancient History and Archaeology* No. 3.4/2016. 65–74.
- Opgenhaffen, L., Revello Lami, M. & Kisjes, I. 2018. Pottery Goes Public. Performing Archaeological Research Amid the Audience. *Open Archaeology*. Vol. 4 (1). 62–80.
- Park, C. H., Ryu, E.-S. & Howard, A. 2015. Telerobotic Haptic Exploration in Art Galleries and Museums for Individuals with Visual Impairments. *IEEE Transactions on Haptics*. Vol. 8 (3). 327–338.
- Patel, M., White, M., Walczack, K. & Sayd, P. 2003. *Digitisation to Presentation – Building Virtual Museum Exhibitions*. University of Bath. UK.
- Pikov, N., Rumyantsev, M., Vishniakova, M. & Kizhner, I. & Hookk, D. 2015. Touching an Ancient Stone: 3d Modeling and Augmented Reality Techniques for a Collection of Petroglyphs from State Hermitage Museum. *Digital Heritage* Vol. 2.
- Pellicer, R. 2018. Structured-light 3D scanner. *The Website of Open Source Imaging*. [<https://www.opensourceimaging.org/project/structured-light-3d-scanner/>]. Haettu 23.1.2022.
- Pettersson, S. 2009. Jakamisen etiikka. Teoksessa Kinanen, P. (toim.) *Museologia tänään*. Suomen museoliiton julkaisuja 57. Suomen museoliitto, Jyväskylä. 163–167.

- Quattrini, R., Pierdicca, R., Paolanti, M., Clini, P., Nespeca, R. & Frontoni, E. 2020. Digital interaction with 3D archaeological artefacts: evaluating user's behaviours at different representation scales. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 18. 1–10.
- Remondino, F. & El-Hakim, S. 2006. Image-based 3D Modelling: A Review. *The Photogrammetric Record* 21 (115). 269–291.
- Skamantzari, M. & Georgopoulos, A. 2016. 3D-visualization for Virtual Museum Development. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XLI-B5. 960–968.
- Sketchfab 2022a. *Sketchfab-sivuston kotisivut*. [<https://sketchfab.com/>]. Haettu 18.1.2022.
- Sketchfab 2022b. *British Museumin Sketchfab-sivut*. [<https://sketchfab.com/britishmuseum>] Haettu 15.1.2022.
- Skytte Jakobsen, L. 2016. Flip-flopping museum objects from physical to digital – and back again. Engaging museum users through 3D scanning, 3D modelling, and 3D printing. *Nordisk Museologi* 2016 (1). 121–137.
- Song, L., Li, X., Yang, Y., Zhu, X., Quo, Q. & Liu, H. 2018. Structured-Light Based 3D Reconstruction System for Cultural Relic Packaging. *Sensors*. Vol. 18 (9), 2981. 1–13.
- Suomen museoliitto 2022. ICOM:in museomääritelmä. *Suomen museoliiton internetsivut*. [<https://www.museoliitto.fi/mikamuseo/icom>]. Haettu 21.12.2021.
- Tolksdorf, J. F., Elburg, R. & Reuter, T. 2017. Can 3D scanning of countermarks on Roman coins help to reconstruct the movement of Varus and his legions. *Journal of Archaeological Science: Reports* 11. 400–410.
- Trafiikkimuseot 2020. Parhaat metodit ja käytännöt museoesineiden 3D-tallentamiseen. *Trafiikki-museot ry:n internetsivut*. [<https://trafiikki.fi/parhaat-metodit-ja-kaytannot-tehda-3d-tallentamista-museoissa/>]. Haettu 26.1.2022.
- Trafiikki-museot ry. 2021. Trafiikki-museoiden 3D-hanke avasi reittejä entistä saavutettavampiin kulttuuripalveluihin. *Trafiikki-museot ry:n internetsivut*.

- [<https://trafiikki.fi/parhaat-metodit-ja-kaytannot-tehda-3d-tallentamista-museoissa/>].
Haettu 26.1.2022.
- Trafiikki-museot ry. 2022. Kulttuuriperintö uudella tavalla yhteiskunnan käyttöön – Trafiikki-museoiden 3D-mallit vapaasti verkkoon. *Trafiikki-museot ry:n internetsivut*.
[<https://trafiikki.fi/trafiikki-museot-3d-mallit-avoimesti-kaytettavissa-vain-nimi-mainittava/>]. Haettu 26.1.2022.
- Treadaway, C. & Younan, S. 2015. Digital 3D models of heritage artefacts: Towards a digital dream space. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. Vol. 2 (4). 240–247.
- Tucci, G., Cini, D. & Nobile, A. 2011. Effective 3D-digitization of Archaeological Artifacts for Interactive Virtual Museum. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVIII-5/W16. 413–420.
- Tuomi-Nikula, O., Haanpää, R. & Kivilaakso, A. 2013. Kulttuuriperintökysymysten jäljillä. Teoksessa Tuomi-Nikula, O., Haanpää, R. & Kivilaakso, A. (toim.) *Mitä on kulttuuriperintö?* Suomalaisen Kirjallisuuden Seura, Vantaa. 12–27.
- Turner, H., Resch, G., Southwick, D., McEwen, R., Dubé, A. K. & Record, I. 2017. Using 3D Printing to Enhance Understanding and Engagement with Young Audiences: Lessons from Workshops in a Museum. *Curator The Museum Journal*. Vol. 60 (3). 311–333.
- Unity Technologies 2022. *Unity 3D-alustan kotisivut*. [<https://www.unity.com/>]. Haettu 4.1.2022.
- Valentini, P. P. 2012. Reverse Engineering Tools in Augmented Reality to Support Acquisition, Processing and Interactive Study of Cultural and Archaeological Heritage. In Bates-Brkljac, N. (ed.) *Virtual Reality*. Nova Science Publishers, New York. 79–106.
- Viinikkala, L. 2018. *Digitaalisia valheita vai historiallista tietoa? Aineellisen todellisuuden, kerronnan ja historiallisen tiedon suhde yhdistetyn, todellisuuden teknologiaa hyödyntävissä menneisyyden esityksissä*. Turun yliopisto, Suomen historian väitöskirja. Turun yliopiston julkaisuja. Sarja C 463. Turku.

- Vilkuna, J. 2009. Yhteinen kulttuuriperintömme. Teoksessa Kinanen, Pauliina (toim.) *Museologia tänään*. Suomen museoliiton julkaisuja 57. Suomen museoliitto, Jyväskylä. 12–43.
- Voltolini, F., Beraldin A., El-Hakim S. & Gonzo L. 2007. Photorealistic 3D Modeling to Cultural Heritage. In Stock, O. & Zancaro, M. (Eds.). *PEACH - Intelligent Interfaces for Museum Visits*. Vol. 12. Springer, Germany. 187–204.
- Wallach Kloski, L. & Kloski, N. 2016. *Getting Started with 3D Printing: A Hands-On Guide to the Hardware, Software, and Services Behind the New Manufacturing Revolution*. Maker Media, Canada.
- Wilson, P. F., Stott, J., Warnett, J. M., Attrigea, A., Smith, P. M. & Williams, M. A. 2018. Museum visitor preference for the physical properties of 3D printed replicas. *Journal of Cultural Heritage*. Vol. 32. 176–185.
- Yu, C.-H. & Hunter, J. 2013. Documenting and Sharing Comparative Analyses of 3D Digital Museum Artifacts through Semantic Web Annotations. *Journal of Cultural Heritage*. Vol. 6. 18:1–18:18.