

MAAILMANPERINTÖ 3D:

Rakennetun kulttuuri- ympäristön 3D-digitointi

OHJEITA 3D-DIGITOINNIN
TEKEMISEEN JA TILAAMISEEN
KULTTUURIPERINTÖSEKTORILLA



Museovirasto



Museovirasto

Maailmanperintö 3D:

Rakennetun kulttuuriympäristön 3D-digitointi

Ohjeita 3D-digitoinnin tekemiseen ja tilaamiseen kulttuuriperintösektorilla

Kulttuuriympäristöpalvelut, Museovirasto 2024

www.museovirasto.fi

Taitto: Bränditoimisto Hurraa Oy

Kannen kuva: Tietoa Finland Oy/Museovirasto, halkaisukuva Petäjäveden kirkon kävelytasosta.

Sisällys

1 Johdanto	5
2 Rakennetun kulttuuri-ympäristön 3D-digitointi: miksi?	7
2.1 3D-data kulttuurihistoriallisten rakennustensuojelussa.....	7
2.2 Yhteinen digitaalinen kulttuuriperintö	8
2.3 Euroopan unionin suositukset.....	11
3 3D-digitoinnin teknologiat	12
3.1 Laserkeilaus	14
3.2 Fotogrammetria	16
3.4 Rakennevaloskannaus	19
3.5 NeRF (Neural Radiance Field)	19
3.6 Muita teknologioita	19
4 3D-datan säilytys ja arkistointi	20
4.1 Suositellut tiedostoformaatit	21
4.2 Säilytysratkaisut	23
4.3 Arkistointi ja säilytys ulkopuolisilla tahoilla.....	24
4.4 Metatiedot.....	25
5 Käytännön ohjeita rakennusten 3D-digitoinnin tilaamiseen	29
5.1 3D-digitointihankkeen rajaaminen.....	30
5.2 Tuotettavan 3D-aineiston määrittely.....	31
5.2.1 Mitta-aineiston tarkkuus ja laatu	31
5.2.2 Georeferointi	33
5.2.3 Mittausdokumentit	33
5.2.4 3D-mallit (kolmioverkkomallit).....	35
5.3 Mittaustyön toimittajan osaaminen.....	37
5.4 Kenttätyön suunnittelu ja 3D-digitoinninrajoitukset	38
5.4.1 Valaistus.....	38
5.4.2 Tilojen ahtaus.....	39
5.4.3 Sää.....	39
5.4.4 Heijastavat pinnat ja lasi	39
Lähteet.....	40
LIITE 1 Muistilista 3D-digitointiprojektin tilaamiseen	41

1

Johdanto

Fyysisten kohteiden taltioiminen kolmiulotteisessa muodossa, eli 3D-digitointi, on maailmalla vakiintunut yhdeksi tärkeimmistä työkaluista rakennetun kulttuuriympäristön suojelussa viime vuosikymmenien aikana. Nykyteknologia mahdollistaa suurtenkin kohteiden tallentamisen verrattain nopeasti millintarkasti, mikä antaa perinteisiin dokumentointimenetelmiin verrattuna huomattavasti kattavammat lähtötiedot arvokkaiden rakennusten korjaus- ja kuntoseurantahankkeisiin. Rakennusten muuntaminen digitaaliseen muotoon myös avaa lukemattomia uusia ovia kohteiden tutkimukseen ja jakamiseen yleisölle sekä mahdollistaa sen, että huipputarkka kopio rakennuksesta voi säilyä digitaalisena datana silloinkin, kun itse fyysinen kohde vaurioituu tai tuhoutuu.

3D-digitointi on oma tekninen tieteen- ja taiteenlajinsa. Erityisesti suurten ja monimutkaisten rakennetun kulttuuriympäristön kohteiden 3D-digitointi vaatii monihenkisen työryhmän, jonka laaja osaamisprofiili sisältää maanmittauksen, rakennustiedon, valokuvaamisen, laserkeilauksen, 3D-mallintamisen ja kulttuuriperinnön ammattitaitoa. Suomessa on pitkä ja vahva 3D-teknologian perinne niin korkeakouluissa, muistiorganisaatioissa kuin kaupallisella sektorilla sekä elinvoimainen 3D-taiteen ammattilais- ja harrastelijakenttä.

"Arkistointikelpoisen, 3D-mittalaitteilla tuotetun digitaalisen, valokuvamaisen ja mittatarkan aineiston tuottaminen ja käsittelyosaaminen ovat Suomessa maailman huippua."

- Aalto-yliopiston professori Antero Kukko ¹

Kenen vastuulla suomalaisen kulttuuriperinnön 3D-dokumentointi ja säilytys sitten tulisi olla? Julkishallinnon toki: Suomessa Museovirasto onkin jo

¹ <https://www.aalto.fi/fi/uutiset/kun-kulttuurikohde-tuhoutuu-3d-digiarkisto-antaa-jalleenrakentamisessa>

2010-luvun alusta investoinut niin rakennetun kulttuuriympäristön kuin koelmaesineiden 3D-digitointiin. Osana opetus- ja kulttuuriperintöministeriön rahoittamaa *Maailmanperintö 3D* -hanketta vuosina 2023–2024 [Petäjäveden vanhasta kirkosta](#)² tuotettiin huipputarkka digitaalinen kopio.

Viranomaisten on kuitenkin mahdotonta tallentaa koko suomalaisen rakennetun kulttuuriympäristön kirjoa, ja usein parhaassa asemassa 3D-digitointihankkeiden teettämiseen ja datan säilyttämiseen ovat kulttuuriomaisuuden haltijat itse. Teknologioita opettamalla voidaan myös kannustaa yleisöä ja vapaaehtoisia turvaamaan suomalaista kulttuuriperintöä. Esimerkiksi Ukrainassa aloitettiin vuonna 2022 kaupallisten yritysten, aktivistien ja mm. Unescon yhteistyöprojekti [Back-up Ukraine!](#)³, joka on antanut työkalut tuhansille kansalaisille tallentaa ukrainalaista kulttuuriperintöä 3D-malleina sodan tuhojen jaloista.

Tämä Museoviraston ohjeistus on tarkoitettu ensisijaisesti suomalaisten kulttuurihistoriallisten rakennusten haltijoille, kuten kunnille, seurakunnille, säätiöille ja yksityishenkilöille, jotka harkitsevat rakennettujen kohteiden 3D-digitointiprojektien teettämistä. Kaikkea aiheesta ei voi eikä tarvitse tietää voidakseen hyödyntää 3D-teknologiaa kulttuuriperintötyössä. Ohjeistus tarjoaa perusteet 3D-digitoinnin taltiointisesta, 3D-datan säilyttämisestä ja hyödyntämisestä kulttuuriperintötyössä sekä antaa käytännön ohjeistusta 3D-hankkeiden tilaamiseen.

Niin kulttuuriperinnön haltijoita kuin rakennusmallintamisen ammattilaisia kannustetaan kohteemaan kulttuuriperintökohteiden 3D-digitointia kulttuuriperintötekona eikä pelkästään lähtötietojen hetkellisenä työkaluna. Laadukkaasti 3D-datan tuottaminen, vastuullinen säilyttäminen ja jakaminen auttaa meitä suojelemaan yhteistä kulttuuriperintöämme tänään tulevillekin sukupolville.

Ohjeistusta pyritään päivittämään tarpeen mukaan.

² <https://www.museovirasto.fi/fi/ajankohtaista/petajaveden-vanha-kirkko-tallennettiin-3d-malliksi>

³ <https://poly.cam/ukraine>

2

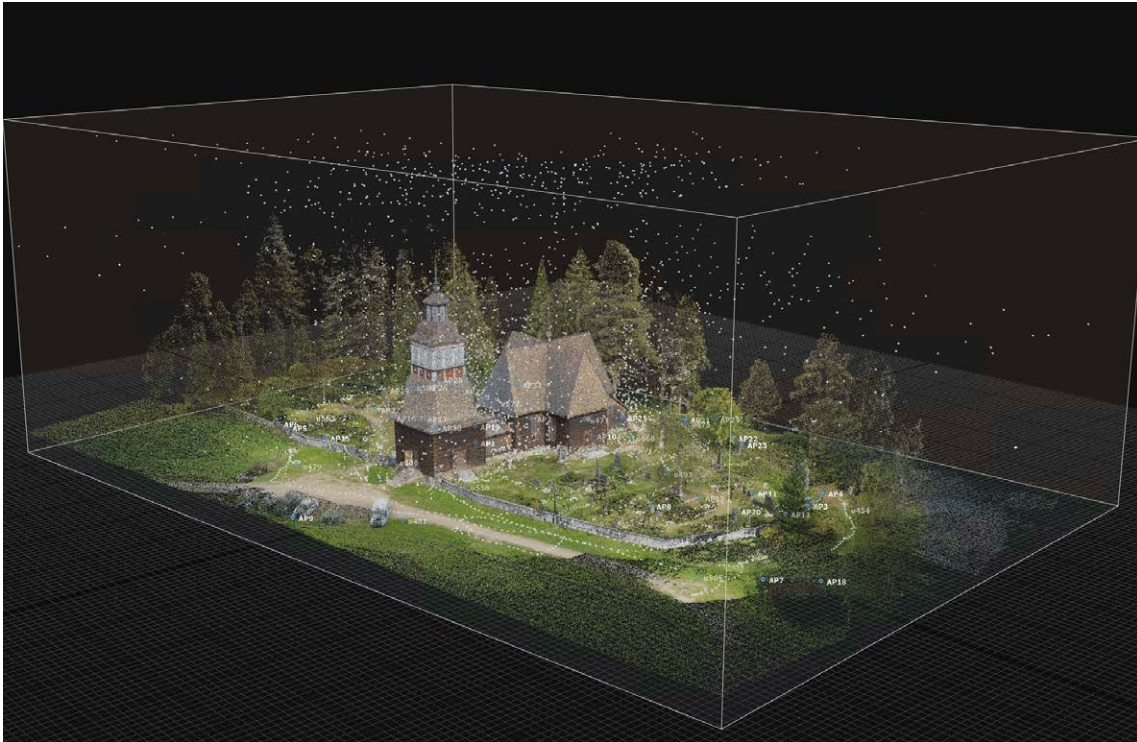
Rakennetun kulttuuriympäristön 3D-digitointi: miksi?

2.1 3D-data kulttuurihistoriallisten rakennusten suojelussa

Kulttuuriperinnön ammattilaisten keskuudessa on tullut jo lähes kliseeksi muistuttaa Eurooppaa vuonna 2019 järkyttäneestä Pariisin Notre Damen palosta. Euroopan ikonisimpiin rakennuksiin kuuluvan katedraalin jälleenrakennushankkeen pelasti pitkälti se, että arkkitehtuurialan akateemikko Andrew Tallon oli sattunut omana projektinaan tuottamaan laadukkaan laserkeilausaineiston katedraalista vuosien 2010–2012 aikana⁴. Notre Dame on epäilemättä yksi Euroopan dokumentoiduimmista rakennuksista, mutta näin laajamittaisia rakenteellisia vaurioita on hyvin haastavaa lähteä jälleenrakentamaan identtisesti esimerkiksi pelkkien valokuvien pohjalta. Laserkeilattu tarkka 3D-data sen sijaan pystyi antamaan tarkat mitat pienistäkin yksityiskohdista kolmessa ulottuvuudessa, ja Tallonin datan avulla pitkälinen hanke Notre Damen palauttamisesta alkuperäiseen asuunsa on voinut alkaa.

Rakennettua kulttuuriympäristöä uhkaavat niin tulipalojen kaltaiset äkilliset tapaturmat, katastrofit ja sodat, kuin ennalta-arvattavammat hiipivät uhat: aika, kulttuuriympäristön katoaminen uudisrakentamisen alle ja ilmastonmuutoksen tuomat haasteet. Laadukas ja kattava 3D-taltiointi toimiikin par-

⁴ <https://www.theartnewspaper.com/2019/09/16/laser-scan-may-one-day-aid-notre-dames-restorers>



Petäjaveden vanhan kirkon fotogrammetrisen datan laskentaa RealityCapture-sovelluksessa vuonna 2023. Kuva: Tietoa Finland Oy/Museovirasto

haimmillaan eräänlaisena rakennuksen "varmuuskopiointina"; alkuperäistä fyysistä rakennelmaa ei mikään voi korvata, mutta pahimman sattuessa rakennus voi säilyä digitaalisena kopiona pitkään ja data toimia jälleenrakentamishankkeiden lähtötietoina.

3D-datan pohjalta voidaan myös tuottaa verrattain nopeasti ja kustannustehokkaasti huipputarkkoja mittausedokumentteja ja -tietoja, jotka auttavat rakennuksen suojelussa ja restauroinnissa. Esimerkiksi rakenteiden liikkumista tai eroosiota voi tarkasta 3D-datasta seurata nopeasti vertaamalla eri aikoina taltioituja datasettejä toisiinsa tai yhdistämällä data olemassa oleviin tukipistemittauksiin. Valokuvapohjaista fotogrammetristä 3D-dataa voidaan käyttää maalipintojen tilan seuraamisen joko silmämääräisesti tai tietokonelaskentaa hyödyntäen. Jos rakennuksessa tehdään remontteja tai muita tilasuunnittelua vaativia uudistuksia, 3D-data avaa mahdollisuudet uudistuksien mallintamiseen ja testaukseen tietokonesovelluksissa.

2.2 Yhteinen digitaalinen kulttuuriperintö

Elämme jo digitaalisen tarinankerronnan maailmassa. 3D-digitointi avaa-kin rajattomia uusia mahdollisuuksia muistiorganisaatioille jakaa yhteistä kulttuuriperintöä verkon kautta suoraan yleisön omiin tietokoneisiin ja kännyköihin ja kertoa uusia tarinoita pelillisyyden ja interaktiivisuuden kautta.



Suomenlinnan historiallisen rantakasarmirakennuksen kolmioverkkomalli. Kuva: Tietoa Finland Oy/Suomenlinnan hoitokunta.

Verkossa jaettu 3D-mallinnus auttaa myös tekemään kulttuuriperinnöstä saavutettavaa niillekin yleisöille, joille fyysinen vierailu esimerkiksi välimatkan tai liikuntarajoitteiden vuoksi on mahdotonta. Digitaalisessa kopiossa yleisö voidaan päästää ihailemaan myös niitä rakennuksen osia, joihin pääsyä täytyy rajoittaa esimerkiksi turvallisuussyistä.

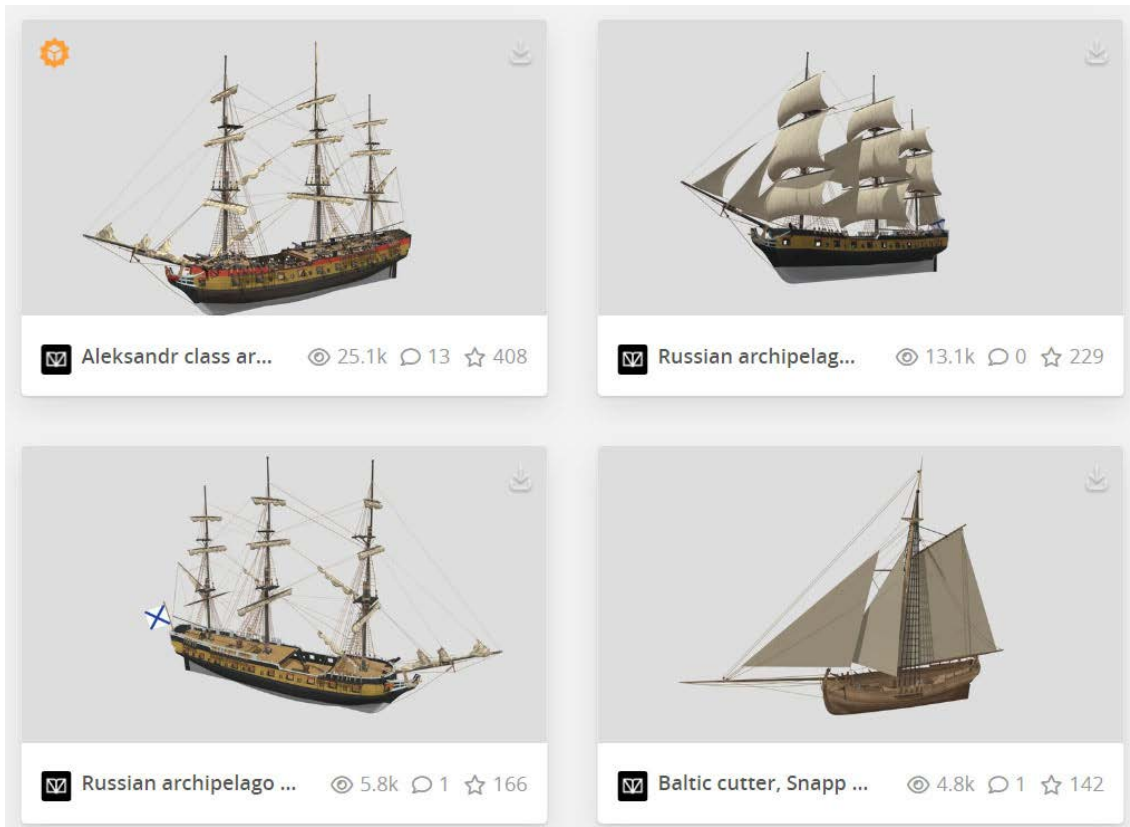
Helpompia ja halvimpia, pienillekin organisaatioille varmasti mahdollisia, tapoja jakaa kulttuuriperintöomaisuuttaan yleisölle 3D-muodossa on jakaa fotogrammetrisesti tallennettuja kohteita ilmaisilla verkoston alustoilla kolmioverkkomalleina. 3D-mallit ovat todistetusti hyvin suosittu tapa nauttia kulttuuriperinnöstä. Esimerkiksi Museoviraston Sketchfab-alustalla jaettu, *Historia eläväksi digitaalisella tarinankerronnalla* -hankkeessa tuotettu, vuoden 1790 Ruotsinsalmen taistelun alusten [3D-rekonstruktio](https://sketchfab.com/3d-models/aleksandr-class-archipelago-frigate-f82f40ca04d84a24868a453c4e3a16c2)⁵ on katseltu ja ladattu kymmeniä tuhansia kertoja ympäri maailmaa.

Vapaasti verkossa jaetut 3D-mallit antavat yleisön tarkastella kohteita omilta tietokoneiltaan ja kännyköiltään sekä ladata malleja luovaan yleisön uudelleenkäyttöön vaikka omissa sovelluksissa, taideprojekteissa, peleissä ja 3D-tulostuksessa. Kun laadukkaat 3D-mallit ovat olemassa, dataa voidaan tietysti hyödyntää myös erilaisissa jalostetuissa immersiiivisissä sovelluksissa

5 <https://sketchfab.com/3d-models/aleksandr-class-archipelago-frigate-f82f40ca04d84a24868a453c4e3a16c2>

näyttelyissä tai verkossa: opetustilanteissa, VR-kokemuksissa, peleissä, animaatioissa.

3D-tekniologioiden käyttöönotto alkaakin olla kulttuuriperintöammattilaisille välttämättömyys, jos haluamme varmistaa, että kerromme kulttuuriperinnöstämme yleisölle luontevimmilta tuntuvilla medioilla niin, että se pysyy elinvoimaisena ja luovana voimana yhteiskunnassamme digitalisaation tuomissa murroksissa.



Suomen merimuseon laivamalleja yleisöjaossa verkossa Sketchfab-sovelluksessa. Kuvat: Zoan Oy/ Museovirasto.

2.3 Euroopan unionin suositukset

Euroopan unioni on viime vuosina ottanut 3D-digitoinnin virallisesti osaksi eurooppalaisen digitalisaation strategiaansa ja painottanut uusien 3D-digitoinnin teknologioiden valjastamisen tärkeyttä eurooppalaisen kulttuuriperinnön turvaamiseksi tuleville sukupolville. Vuonna 2021 Euroopan komissio allekirjoitti suosituksen⁶, jonka mukaan jäsenmaiden tulisi vuoteen 2030 mennessä tavoitella

- a) että kaikki (100 %) uhanalaiset kulttuuriperintökohteet on digitoitu
- b) että puolet (50 %) kaikkein eniten vierailtuista kulttuuriperintökohteista on digitoitu
- c) että on tehty kaikki tarvittavat toimenpiteet sen eteen, että digitaalinen kulttuuriomaisuus myös säilyy digitaalisesti.

Aikaisemmin vuonna 2020 Euroopan komissio julkaisi osana EU:n virallista digitaalista strategiaa kymmenen kulttuuriperinnön 3D-digitoinnin ”perusperiaatetta” kulttuuriperinnön haltijoille ja viranomaisille, joiden luomisessa myös Museovirasto oli mukana. Komission sivuilta voi lukea periaatteiden sisällöstä tarkemmin englanniksi⁷.

1. Arvosta ja punnitse 3D-digitoinnin hyötyjä ja tarpeita (kulttuuriperinnön suojelutyössä).
2. Valitse, mitä kohteita 3D-digitoidaan ja millaisia käyttäjäryhmiä varten.
3. Päätä, teetätkö 3D-digitoinnin tilaustyönä vai teetkö itse.
4. Selvitä tekijänoikeuskysymykset ja tähtää aina avoimeen, vapaaseen jakoon.
5. Määritä tarvitsemasi minimitaso 3D-aineistolle - mutta tähtää korkeimpaan mahdolliseen laatuun, johon resurssit riittävät.
6. Selvitä, millaisia erilaisia versioita ja tiedostomuotoja 3D-aineistosta tarvitset täyttääksesi kaikkien käyttäjäryhmien tarpeet.
7. Varmista kaiken tuottamasi datan pitkäaikaissäilyvyys.
8. Käytä tarkoituksenmukaista laitteistoa, metodeja ja työprosesseja.
9. Suojele kulttuuriperintökohteita sekä digitoinnin aikana että sen jälkeen.
10. Investoi 3D-digitoinnin osaamiseen, teknologioihin ja prosesseihin.

⁶ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/commission-proposes-common-european-data-space-cultural-heritage>

⁷ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/basic-principles-and-tips-3d-digitisation-cultural-heritage>

3

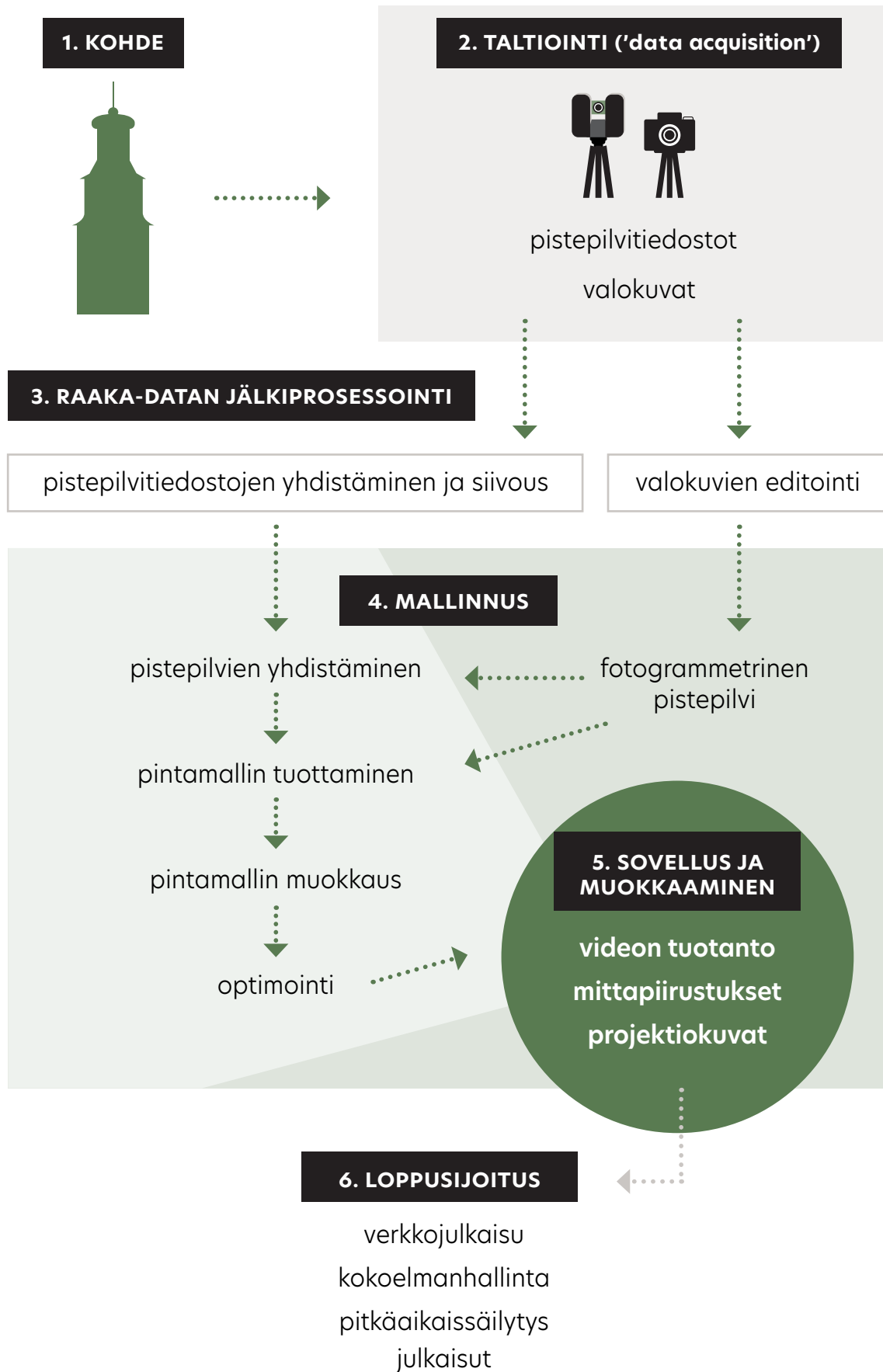
3D-digitoinnin teknologiat

Kolmiulotteista dataa kerääviä laitteistoja ja teknologioita on lukuisia, ja teknologia alalla kehittyä pyöräyttävää vauhtia. Tässä osuudessa esitellään kaikkein tavallisimmat rakennettujen kulttuuriperintökohteiden 3D-digitointiin käytetyt tekniikat ja työnkulku, joista on hyvä 3D-projektia harkitessa ymmärtää perusteet.

Oheisessa kaaviossa on havainnollistettu esimerkkinä Petäjäveden vanhan kirkon 3D-digitointihankkeen työputki.

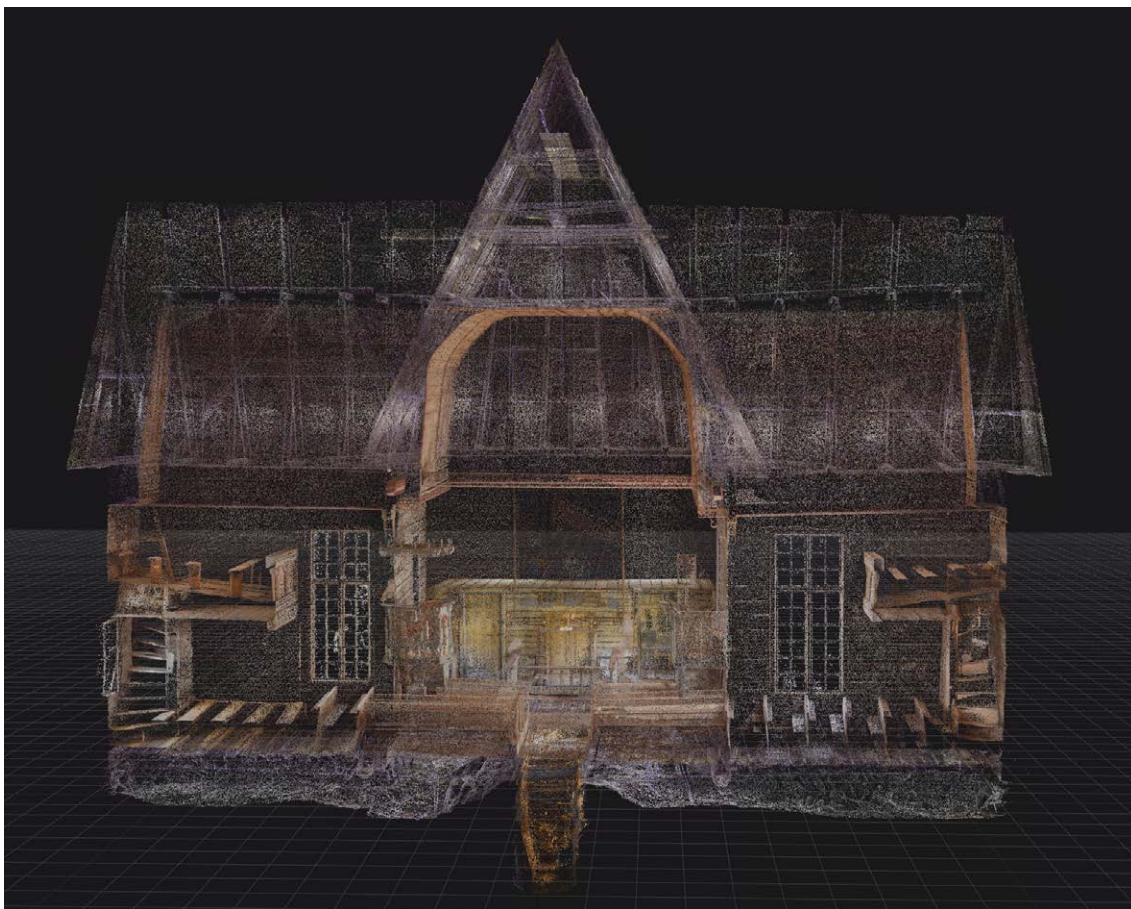


Laserkeilaaja laskeutuu kevyen, pienempiin etäisyyksiin ja ahtaisiin tiloihin soveltuvan laserkeilaimen kanssa mittamaan Petäjäveden vanhan kirkon alapohjaa. Kuva: Matti Kilponen, Museovirasto.



3.1 Laserkeilaus

Laserkeilaimia on olemassa monenlaisia hiukan erilaisilla teknologiolla ja toimintaperiaatteilla, ja niitä on käytetty jo vuosikymmeniä kulttuuriperintökohteiden 3D-dokumentointiin. Laserkeilaus taipuu niin suuriin kuin pieniin kohteisiin sekä erilaisiin etäisyyksiin – samaa perusteknologiaa käytetään esimerkiksi myös Maanmittauslaitoksen lentokoneesta käsin tehtyihin valtakunnan kattaviin maastokartoituksiin.



Pistepilvi Petäjaveden vanhan kirkon laserkeilausaineistosta. Kuva: Tietoa Finland Oy/Museovirasto.

Tavallisimpia rakennusten digitointiin käytettäviä keilaimia ovat maan pinnalta dataa keräviä, kannettavat ja mitatessaan paikallaan pyörivät laserkeilaimet (TLS, Terrestrial Laser Scanning). Viime vuosina myös erilaiset liikkeessä (SLAM, Mobile Laser Scanning) tai ilmassa lentäen (UAV, lennokiskannerit) mittaavat skanneriteknologiat ovat kehittyneet huimasti, mutta nämä eivät ole toistaiseksi vielä korkean hintansa ja epäluotettavamman laatunsa takia laajassa käytössä.

Laserkeilain on optinen laite, joka lähettää matkaan tasaisesti laservalopulsseja tai jatkuvaa sädettä. Pulssien kimmotessa fyysisestä pinnasta ta-

kaisin keilain mittaa pulssien paluuajan ja intensiteetin, joiden perusteella laite laskee kimmahduspisteen etäisyyden ja sijainnin. Laserkeilain lähettää ja prosessoi kerralla ison joukon pulsseja, jolloin se saa kerättyä nopeasti jopa miljoonia mittauspisteitä ja pystyy muodostamaan etäisyshavainnoista *pistepilven* eli pisteiden joukon kolmiulotteisessa xyz-koordinaatistossa. Joissain malleissa on myös sisäänrakennettu kamera, jolloin laite voi tallentaa jokaisen mittauspisteen keskimääräisen RGB-arvon ja tuloksena saadaan värillisiä pistepilviä. Laserkeilaimet voivat siis tallentaa myös väripintoja, mutta fotorealistiseen 3D-dokumentointiin laserkeilaus ei helposti taivu.

Laserkeilaus ei vaadi minkäänlaista fyysistä kontaktia kohteeseen, eikä sen käyttö vahingoita pintoja, joten se sopii hyvin kulttuuriperintökohteiden digitalisointiin. Kuvatallennusta lukuun ottamatta laserkeilaus toimii erittäin hyvin myös pimeässä.

Laserkeilain taltioi dataa vain senhetkisestä mittausasemasta (kojeasemasta) käsin näkyvistä muodoista eli pinnoista, joihin sen lähettämät laserpulssit voivat yltää. Kokonaisten rakennusten taltioiminen pistepilveksi tarkoittaa useita yksittäisiä keilauksia eri kojeasemista ja niiden yhdistämistä tietokoneohjelmistolla, mitä kutsutaan rekisteröinniksi. Kohteen laajuudesta ja tilan geometrian monimutkaisuudesta riippuen kokonaisten rakennuksen digitointi saattaa vaatia kymmenistä jopa tuhansiin yksittäisiin kojeasemia.

Laserkeilauksen mittaustyön jälkikäsitteily koostuu yleensä yksittäisten kojeasemien pistepilvikoordinaatistojen rekisteröinnistä yhdeksi koko rakenteen kattavaksi pistepilveksi, tarkkuuden analysoinnista, ylimääräisen ”kohinan” siivoamisesta (päällekkäisten ja turhien mittapisteiden poistamisesta) sekä mahdollisesta yhdistämisestä muuhun dataan, kuten maanmittausdataan.

Laserkeilaimen maksimaalista dokumentointitarkkuutta ilmaistaan yleensä pistetiheyden perusteella: kuinka suuri on kahden mittauspisteen välinen pienin etäisyys. Tavallinen tilasuunnitteluun ja peruslähtötietoihin käytettävä pistetiheys on 3–6 mm, mutta tämä saattaa olla liian väljä tiheys kulttuuriperinnön dokumentointiin. Mitä suurempia etäisyyksiä keilain on suunniteltu mittaamaan, sitä suurempi tiheysväli yleensä on. Esimerkiksi Maanmittauslaitoksen ilmasta käsin tehdyn Suomen valtakunnallisen laserkeilausaineiston (2008–2019) tiheys on 0,5 pistettä/m², mutta pienempiä tiloja tai esineitä mittaamaan suunnitellut käsiskannerit voivat mitata millimetrin kymmenysoisien tai jopa sadasysoisien pistetiheydellä.

Laserkeilaimet itsessään eivät ole halpoja laitteita, ja niiden käyttö vaatii perehtymistä teknologian teoreettisiin toimintaperiaatteisiin ja laitteistoon ohjelmistoihin. Rakennusten 3D-digitoinnissa mittaja tarvitsee myös riittävää maanmittauksen ja rakennusteknologian tietotaitoa. Laserkeilaus ei siis ole helposti amatöörien itsenäisesti haltuun otettavissa oleva teknologia, vaan

mittaustyö tilataan lähtökohtaisesti ammattilaiselta. Laserkeilaus on kuitenkin muihin 3D-dokumentointitapoihin verrattuna ylivoimaisesti nopeimpia teknologioita saada nopeasti mittatarkkaa, kolmiulotteista dataa suuristakin rakenteista, ja näin ollen myös usein kustannustehokkain. Teknologian laaja käyttö rakennussektorilla perustuu laserkeilainten kykyyn taltioida hyvin nopeasti massiivistenkin rakenteiden kolmiulotteisen geometrian millimetrienkin tarkkuudella, ja pistepilviä käytetään laajasti mittaustietojen tuottamiseen sekä kohteiden analysointiin, hahmottamiseen ja visualisointiin.

3.2. Fotogrammetria

Fotogrammetria on täysin valokuvapohjaiseen dokumentointiin perustuva teknologia. Kuvat voivat olla tavallisista kameroista, lennokeista, videoista tai jopa satelliiteista otettuja. Fotogrammetrista mittausta varten kuvaaja ottaa kohteesta mahdollisimman kattavasti kuvia niin, että kohteen geometria saadaan taltioitua jokaisesta kulmasta. Kuvat syötetään tämän jälkeen fotogrammetriaohjelmiston analysoitavaksi. Tärkeää on, että raakakuvissa on tarpeeksi päällekkäisyyksiä (yhteisiä alueita), jotta ohjelmisto pystyy tunnistamaan samat piirteet eri kuvista. Riittävä määrä päällekkäisyyttä on noin 60–80 prosenttia. Tältä pohjalta ohjelmisto pystyy rekonstruoimaan samojen pisteiden etäisyydet ja sijainnit suhteessa toisiinsa kolmiulotteisessa koordinaatistossa ja näin tuottamaan kolmiulotteisen kopion kohteesta.

Fotogrammetriset ohjelmistot tuottavat valokuvista paitsi pistepilviä myös vaivattomasti kolmioverkkomalleja ('mesh') ja tekstuureja, jolloin tuloksena saadaan fotorealistisia 3D-malleja. Fotogrammetria soveltuukin erityisen hyvin uskollisen ja näyttävän visuaalisen kopion luomiseen kohteesta. Teknologiasa käytetään laajasti kulttuuriperintö- ja rakennussektorien lisäksi esimerkiksi pelialalla ja virtuaaliympäristöjen luomiseen.

Laadukas fotogrammetrinen mallinnus voi olla mittaustarkkuudeltaan yhtä luotettavaa kuin laserkeilattu aineistokin, ja sitä voi yhtä mielekkäästi käyttää mittatietojen lähteenä tai jälleenrakennuksen pohjana; korkearesoluutiosisista kuvista voidaan päästä tarkkuudessa millimetrin osiin. Fotogrammetrisen aineiston tarkkuutta ilmaistaan usein GDS:nä, *Ground Sampling Distance*. GDS ilmaisee, kuinka suuri pikselikoko aineistossa vastaa todellista fyysistä välimatkaa luonnossa. Esimerkiksi ilmakuvista otetuissa laajoissa maastomalleissa yksi pikseli saattaa vastata useampaa senttimetriä, kun taas pieniä yksityiskohtia dokumentoidessa voidaan pyrkiä jopa 0,2 millimetriin pikseliä kohden.

Fotogrammetrialla on kuitenkin samat heikkoudet kuin valokuvauksella yleensäkin. Valaistus vaikuttaa huomattavasti kuvien laatuun, ja pimeissä



Mittaaja valmistelee järjestelmäkameraa Petäjäveden vanhan kirkon fotogrammetrista dokumentointia varten. Kuva: Matti Kilponen, Museovirasto.

tiloissa sitä ei yleensä kannata edes yrittää. Kaikenlaiset vähänkin heijastavat pinnat voivat vaikuttaa paitsi tekstuurien ulkoasuun myös vääristää kohteen geometrian todenmukaista mallintamista. Eri kulmista eri tavalla käyttäytyvä valot ja heijastukset sekoittavat algoritmin kyvyn löytää samoja pisteitä kuva-aineistoista. Näin ollen kulttuuriperintötason 3D-dokumentoinnissa laserkeilausaineistoa tarvitaan usein fotogrammetrian tueksi – paitsi dokumentoimaan fotogrammetriaan taipumattomat tilat, myös verrokkina, jolla tarkistetaan fotogrammetrisen aineiston paikkansapitävyys.

Laserkeilaukseen verrattuna fotogrammetrinen taltiointi on laitteistonsa puolesta halpaa. Teoriassa fotogrammetrista taltiointia voi tehdä millä tahansa kameralla, ja täysin ilmaisia tai edullisia, helppokäyttöisiä fotogrammetriasovelluksia on tarjolla verkossa tai nykyään myös puhelinsovelluksina. Fotogrammetria on siis hyvinkin harrastelijaystävällinen teknologia, ja jokaista voi rohkaista kokeilemaan sitä itse. Fotogrammetria on vanha teknologia, ja suurimpana esteenä on pitkään ollut ohjelmistojen vaatimien laskentatehojen saatavuus. Nykyään älypuhelimetkin pystyvät tuottamaan kohtuullisen hyviä fotogrammetrisia malleja pienten kohteiden hahmottamista ja visualisointia varten.



Egyptiläisen sarkofagin (KM14560:660) fotogrammetrinen malli Reality Capture-ohjelmassa. Valkoiset pisteet merkkävat mallinnuksen pohjana olevien valokuvien ottamispaikkoja.

3D-mallinnus: Tuuli Ahlholm ja Matti Kilponen, Museovirasto

Käytännössä kuitenkin suurten ja monimutkaisten rakennetun ympäristön kohteiden 3D-digitointi fotogrammetrialla niin, että saataisiin restaurointityötä ja jälleenrakentamista tukeva mittatarkka ja laadukas aineisto, vaatii yleensä ammattimais-

ta kokemusta ja laitteistoa. Mitä parempia ja tasaisempia kuvat ovat, sitä laadukkaampaa ja tarkempaa on myös 3D-data. Riittävän kuvapeiton saaminen suurista kohteista on työlästä ja hidasta ja saattaa vaatia useiden tuhansien yksittäisten valokuvien ottamista. Maanpinnalta käsin on yleensä mahdotonta taltioida esimerkiksi kattorakenteita, jolloin on käytettävä lennokkikameroita. Kattavaa mittausta varten saatetaan tarvita laadukkaiden järjestelmäkameroiden lisäksi rakennustelineitä, teleskooppivarsia ja valoja. Tarkan ja tasalaatuisen 3D-aineiston tuottamiseksi suurista rakennuksista vaaditaan syvällisempää kameroiden ja fotogrammetrian teoreettisten toimintaperiaatteiden ymmärrystä, jotta osataan esimerkiksi arvioida vaihtelevien etäisyyksien ja valaistuksen vaikutusta mittaustuloksiin. Kuten laserkeilauksessa, fotogrammetrisen aineiston tuottaminen tarkoituksenmukaista rakennusdokumentointia varten vaatii maanmittauksen ja rakennusteknologian osaamista.

3.3 Georeferointi ja maanmittausteknologiat

Laserkeilausaineistoa ja fotogrammetria-aineistoa tuottaessa ohjelmisto luo aineistoille oman xyz-projektikoordinaatistonsa. Laserkeilaimet yleensä tallentavat todellisia mittoja, mutta fotogrammetrisille aineistoille pitää kertoa, millaisia mittasuhteita kuvissa oleva kohde edustaa, jotta 3D-datasta voidaan analysoida ja mitata alkuperäisen kohteen mittoja.

Maanmittaustyössä käytettyjä laitteita, kuten takymetria, käytetään usein ohjauspisteiden määrittämiseen 3D-aineiston tarkkuuden varmistamiseksi. Rakennetun ympäristön kohteissa on myös suositeltavaa, että aineisto sidotaan kansallisiin leveys- ja korkeuskoordinaatistoihin (tai muihin vakioihin). Joissain kulttuuriympäristökohteissa myös ympäröivän maaston digitoiminen ja maastomallien tuottaminen olennaisena osana kulttuuriympäristöä voi myös olla paikallaan.

3.4 Rakennevaloskannaus

Rakennevaloskannaus on yleinen optinen mittaustekniikka, jota käytetään erityisesti esineiden ja muiden pienempien kohteiden digitointiin, mutta sillä voi olla joissain tilanteissa käyttöä rakennusten yksityiskohtien tai irtaimiston taltiointiin.

Rakennevaloskanneri projisoi kohteen pinnalle yhtenäistä valokuviota (esimerkiksi vaakaviivoja). Analysoimalla kuvion vääristymistä ohjelma pystyy laskemaan ja muodostamaan kolmiulotteisen kopion kohteesta. Rakennevaloskannerien käyttö on suhteellisen helppoa ja nopeaa, ja niillä saadaan esineistä hyvinkin tarkkoja ja luotettavia 3D-malleja. Skannereissa on yleensä myös sisäänrakennettu kamera, mutta yhtä realistisia ja esteettisiä tekstuureja malleista saadaan yleensä vain yhdistämällä ne fotogrammetriseen aineistoon.

3.5 NeRF (Neural Radiance Field)

NeRF (Neural Radiance Field) on uudehko ja nopeasti AI-buumin myötä yleistynyt tekniikka esimerkiksi monissa älypuhelinsovelluksissa. NeRF ei ole niinkään dokumentointitekniikka vaan syväoppimiseen perustuva algoritmimetodi, jossa tekoäly luo vaikuttavia kolmiulotteisia malleja ja ympäristöjä tarvittaessa kitsaastakin kaksiulotteisesta pohja-aineistosta. Tekniikka on kehittymässä sovellettavaksi myös tarkempaan mittausdokumentointiin, mutta toistaiseksi sen luomat mallit ovat siis ennen kaikkea tekoälyn tuottamia visualisointeja, jotka eivät sovellu mittatarkkaan dokumentointiin.

3.6 Muita teknologioita

Edellä mainittujen lisäksi on useita harvinaisempia ja esimerkiksi erikoistuneemmassa tutkimus- ja analysointitarkoituksessa käytettäviä teknologioita, joita voidaan käyttää 3D-datan tuottamiseen tai yhdistämiseen muunlaiseen dataan rakennetuissa kohteissa. Katsauksia näihin teknologioihin ja niiden sovelluksiin voi lukea esimerkiksi EU:n VIGIE 2020/654 -tutkimusraportista (englanniksi)⁸.

⁸ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/study-quality-3d-digitisation-tangible-cultural-heritage>

4

3D-datan säilytys ja arkistointi

3D-hankkeen tilaajalle suurimmaksi päänsäryn aiheeksi saattaa muotoutua 3D-datan säilytys. Suurten rakennetun ympäristön kohteiden 3D-aineistot raakadatoineen yltyvät helposti useampien teratavujen kokoluokkaan, ja aineistopakettit kokonaisuuksina ovat monimutkaisia. Samassa projektissa on saatettu työstää esimerkiksi tuhansia valokuvia ja satoja yksittäisiä laserkeilauksia sekä useampien ohjelmien projektitiedostoja. Jotkut tiedostot saattavat olla riippuvaisia toisistaan toimiakseen oikein. Sekä valtava datakoko että tiedostorakenteiden monimutkaisuus tuovat siis huomattavia haasteita arkistojalle.

3D-aineistojen pitkäaikaissäilyvyyden kehittäminen on oleellinen mutta yhä lopullisia ratkaisuja ja standardisointia kaipaava pulma. 3D-ala on nopeasti muuttuva ja kaupallisten tekijöiden dominoima kenttä, minkä takia on aito huoli siitä, onko vuonna 2024 käytössä oleva ohjelmistoformaatti niinkin pian kuin vuonna 2030 vielä avattavissa ja hyödynnettävissä.

3D-hankkeita harkittaessa onkin tärkeää aloittaa kysymällä, pystynkö mielekkäästi ja turvallisesti säilyttämään tilattua 3D-dataa pidemmälläkin aikavälillä. 3D-digitointi on kallista ja työlästä, joten aineiston katoaminen tai korruptoituminen on resurssien tuhlausta. Vaikka teknologia kehittyy, laadukas 3D-data ei automaattisesti vanhennu. Monet 00-luvulla tehdyt laserkeilausaineistot eivät ole näin 20 vuotta myöhemmin yhtään vähemmän tarkkoja tai käyttökelpoisia kuin nykyään tuotettavat aineistot. Teknologia on kehittynyt ensisijaisesti mittaus- sekä laskentaprosessien nopeuden ja tehokkuuden, ei niinkään mittauksien laadun suhteen.

Teknologian kehittyessä samaa vanhaa raakadataa pystyään kenties soveltamaan esimerkiksi tekoälyn kehityksen myötä yhä uusiin tarkoituksiin tai siitä pystytään tuottamaan entistä tarkempia mallinnuksia. Lisäksi kulttuu-

riperinnön 3D-digitoinnin oleellisen tärkeänä tavoitteena on tuottaa digitaalisia "varmuuskopioita" ja tarvittavia lähtötietoja jälleenrakentamiseen siltä varalta, että itse fyysinen kohde vaurioituu tai tuhoutuu. Rakennettua kulttuuriympäristöä dokumentoidessa onkin hyvä asennoitua ajattelemaan myös itse 3D-dataa kulttuuriperintönä: aineiston turvallinen säilyttäminen on kulttuuriperintöteko.

Museovirastossa, niin kuin kulttuuriperintösektorilla yleensäkin, suositellaan FAIR-datan periaatteiden noudattamista⁹. FAIR-periaatteiden tarkoitus on tehdä data löydettäväksi (Findable), saavutettavaksi (Accessible), yhteentoimivaksi (Interoperable) ja uudelleenkäytettäväksi (Re-usable). Tämä tarkoittaa paitsi itse aineiston säilymistä varmistamista, myös avointen tiedostomaattojen suosimista ja datan kuvailemista mahdollisimman rikkailla metatiedolla.

Tässä osuudessa annetaan käytännön suosituksia ja ohjeita, jotka auttavat 3D-aineistojen pitkäaikaisessa, turvallisessa säilyttämisessä FAIR-periaatteiden mukaisesti.

3D-projekteja säilyttäessä ja arkistoidessa ideaalissa arkistopakettissa pitäisi olla aina samassa säilytyspaikassa mukana

- hankkeen lopputuotteet (esim. pistepilvet, 3D-mallit, mittausdokumentit)
- hankkeen kaikki raaka-data (esim. fotogrammetrisen mittauksen valokuvatiedostot)
- riittävän rikkaat metatiedot, joiden avulla ulkopuoliset käyttäjät tulevaisuudessakin pystyvät ymmärtämään, miten ja miksi kyseinen 3D-aineisto on tuotettu.

4.1 Suositellut tiedostomaatit

Digitointiprojektin suunnittelussa ja hankesopimuksessa tulee määritellä etukäteen, missä maatissa toimittaja toimittaa tilaajalle digitointihankkeessa tuotetut lopputuotteet ja raakadatat.

Erilaisia aktiivisessa käytössä olevia 3D-datan tiedostomaatteja on kymmeniä, ellei jopa satoja. Tämä johtuu lähtökohtaisesti siitä, että verrattuna esimerkiksi 2D-kuvatiedostoihin, joilla on jo hyvin vakiintuneet muutamat yleiset maatit (JPG, TIFF, PNG):

⁹ <https://www.fairdata.fi/tietoa-fairdatasta/fair-periaatteet/>

1. 3D-tiedostot kantavat huomattavasti moninaisempaa tietoa, esimerkiksi kolmiulotteisesta geometriasta sijainneista ja mitoista tila-avaruudessa, materiaalista, tekstuureista, animaatioista.
2. Monet yleisistä 3D:n tiedostoformaateista ovat kaupallisten toimijoiden kehittämiä, jolloin niiden avaaminen saattaa olla mahdollista vain tietyillä lisensoituilla ohjelmistoilla.
3. 3D-tiedostoformaattien virallinen standardisointi esimerkiksi viranomaisten arkistokäyttöön on kansainvälisestikin vielä lapsenkengissään.

Museovirasto suosittelee arkistoystävällisten tiedostoformaattien suositusta aina kuin mahdollista. Suositeltaviksi formateiksi on valittu ensisijaisesti avoimia ja ihmisen luettavissa olevia tiedostomuotoja (esim. ASCII- tai XML-pohjaiset), koska tämä poistaa riippuvuuden määrätyistä ohjelmistopaketeista ja mahdollistaa joustavuuden tulevaa säilyttämistä, käyttöä ja migraatioita varten. Suositellut formaatit ovat siis niitä, joiden data on ainakin teoriassa luku- ja käyttökelpoista teknologia- ja ohjelmistokehityksestä riippumatta.

Lisäksi suositellut formaatit ovat laajasti alalla käytössä olevia tiedostomuotoja, joiden pitäisi olla avattavissa ja selattavissa kaikissa vakiintuneimmista ohjelmissa ja katselusovelluksissa. Joitain poikkeuksia voi aina olla: esimerkiksi Suomessa kulttuuriperintösektorilla huomattavaa on, että [Finna-palvelun 3D-katseluohjelma ei tue OBJ-tiedostoja \(vain GLB- ja glTF-tiedostoja\)](#)¹⁰.

Yksittäisessä digitointihankkeessa tiedostomuotojen valintaan toki vaikuttaa, millaisia vaatimuksia hankkeen tilaajan, toimittajan, suunnittelijoiden ja muiden osapuolten käyttämällä ohjelmistoilla ja datan käyttötarkoituksella on. Nämä vaatimukset todennäköisesti pitkälti määrittävät, mitä tiedostoformaatteja hankesopimuksessa pyydetään toimitettavaksi. Digitoinnin toimittajaa voi kuitenkin pyytää toimittamaan samoja lopputuotteita useimpina eri tiedostoversioina, kuten projektin ohjelmistojen tarvitsemien tiedostomuotojen lisäksi myös pitkäaikaiseen arkistointiin soveltuvina versiona.

Suosituksissa on otettu huomioon ennen kaikkea Suomen kansallisen kulttuuriperintöaineistojen ja tutkimusaineistojen [Pitkäaikaissäilytyspalvelun \(PAS-palvelun\) määrittelyt](#)¹¹. Taustatietona on käytetty myös Euroopan komission [VIGIE 2020/645](#)-raportin¹² tuloksia, sekä Ison-Britannian yliopistojen digitaalisen tutkimusdatan arkiston [Archaeology Data Servicen](#) suosituksia¹³.

10 <https://www.kivi.fi/pages/viewpage.action?pagelId=212796002>

11 <https://www.digitalpreservation.fi/specifications>

12 <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/dc1c4098-b551-11ec-b6f4-01aa75ed71a1/language-en>

13 <https://archaeologydataservice.ac.uk/help-guidance/instructions-for-depositors/files-and-metadata/>

LOPPUTUOTE	SUOSITELTU TIEDOSTOFORMAATTI	KOMMENTTEJA
Pistepilvet, laserkeilausaineistot, LIDAR	e57, LAS	
3D-mallit	OBJ	OBJ-tiedostoissa materiaalitieto tulee erillisenä MTL-tiedostona. Yhtä mallia varten tarvitaan siis useampaa tiedostoa.
Ortokuvat, projektiokuvat	JPG, TIFF, PDF (georeferoituina myös GeoTIFF)	
Valokuva	JPG, TIFF	
Video	MPG4	
CADit ym. tietokoneavusteiset mittausspiurutukset ja vektoroinnit	DWG, SVG	Arkikäyttöä ajatellen kannattaa pyytää dokumenteista myös esim. PDF- tai TIFF-versiot, mutta DWG ja SVG kantavat moniulotteisempaa tietoa piirto prosessista.
3D-tulostusta varten tehdyt pintamallit	STL	
Paikkatietoaineistot	GeoTIFF, GML, GeoPackage, KML	

4.2 Säilytysratkaisut

Digitaalista dataa voi säilyttää joko fyysisessä muodossa tai puhtaasti digitaalisesti verkkoasemilla tai pilvipalveluissa.

Fyysiset säilytysmuodot – CD:t, USB-muistitikut, ulkoiset kovalevyt jne. – ovat olleet jo pitkään väistymässä pilvisäilytyksen tieltä. Isoja tiedostoja, kuten 3D-projektin aineistoja, siirrellään ja toimitetaan edelleen usein fyysisinä kovalevyinä. Valtavan suurien datakokojen takia datan siirtely on usein huomattavasti nopeampaa ja käytännöllisempää fyysisessä muodossa kuin verkon kautta. Lisäksi pilvipalvelujen käyttö vaatii jatkuvien juoksevien kulojen maksamista, kun taas ulkoinen kovalevy on kertainvestointi. Monissa tilanteissa fyysiset tallennusmuodot saattavatkin olla yhä käytännöllisin ja kustannustehokkain ratkaisu. Tämä pätee erityisesti pieniin organisaatioihin, jotka tilaavat 3D-projekteja vain satunnaisesti.

Kovalevyihin turvautumisessa on kuitenkin selkeät huonot puolensa. Fyysisinä esineinä ne voivat herkästi kadota tai vahingoittua. Kuten kaikenlainen

materia, ne ovat alttiita kosteudelle, kuumuudelle tai muille ympäristötekijöille. Teoriassa kovalevyt voivat kestää useita vuosikymmeniä, mutta kiintolevyjen magneettikentät heikentyvät tasaisesti ajan kuluessa, jolloin data alkaa ennemmin tai myöhemmin korruptoitua. Myös levyn fyysinen moottori saattaa pettää. Molempia voi ehkäistä käyttämällä kovalevyä ja "pyöräyttämällä" sen data säännöllisesti: levyn data siirretään hetkeksi muualle ja kirjataan levylle uudestaan. Hyvä nyrkkisääntö on, että jos kiintolevyn pyöräyttää noin viiden vuoden välein, datan korruptoitumisen riskin pitäisi olla hyvin pieni.

Pilvipalveluiden käytössä vastaavaa pelkoa datan korruptoitumisesta ei ole, ja pilvipalvelut mahdollistavat esimerkiksi useammankin ihmisen pääsyn aineistoon samanaikaisesti mistä tahansa verkon kautta. Toisaalta pilvipalveluja käyttäessä päävastuu datan säilymisestä luovutetaan jollekin ulkopuoliselle, kaupalliselle taholle. Mitä datalle tapahtuu, jos palvelun tarjoaja menee esimerkiksi konkurssiin? On myös hyvä muistaa, että lopulta kaikki "pilvessäkin" oleva data on olemassa fyysisessä muodossa *jossain*, palveluntarjoajan konesalissa. Pilvipalveluja säilytysmuotona punnitessa onkin hyvä ottaa hinnan, tilan ja datansiirron nopeuden lisäksi huomioon palveluntarjoajan vakaus yrityksenä ja konesalien maantieteellinen sijainti. Inhimilliset virheet ovat mahdollinen riski aineistoille pilvessä siinä missä fyysisissäkin tallennusmuodoissa, ja on syytä selvittää, millaisia automaattisia varmuuskopiointimekanismeja palvelu hyödyntää.

Mihin tahansa säilytysmuotoon päädytäänkin, on tärkeää tehdä samasta aineistosta useampia varmuuskopioita ja mieluiten säilyttää niitä eri paikoissa. Lisäksi organisaation on hyvä laatia pitkän aikavälin virallinen säilytysstrategia niin, että tieto ja vastuu aineiston olemassaolosta ei katoa esimerkiksi henkilökunnan vaihtuessa.

4.3 Arkistointi ja säilytys ulkopuolisilla tahoilla

3D-datan säilyttämisen ja hallinnan haastavuuden takia arvoaineiston luovuttaminen turvalliseen pitkäaikais säilytykseen jollekin ulkopuoliselle taholle voi olla myös houkutteleva vaihtoehto. Suomessa ei kuitenkaan toistaiseksi ole julkisia tai kaupallisia arkistopalveluita, jotka säilyttäisivät 3D-aineistoja pitkäaikaisesti - ilmaiseksi tai maksusta. Euroopassa tällaisia digitaalisia arkistoja on muutamia. Tunnetuin lienee Ison-Britannian korkeakoulujen arkeologista tutkimusta palveleva, mutta maksua vastaan kaikenlaista kulttuuri-perintödataa vastaanottava, [Archaeology Data Service](https://archaeologydataservice.ac.uk/)¹⁴.

14 <https://archaeologydataservice.ac.uk/>

Luotettava digitaalinen 3D-arkisto määrittelee säilöttävälle datalle tiukat rajoitukset ja standardit esimerkiksi tiedostformaateista ja metatiedoista. Ideaalitapauksessa sillä on myös omaa 3D-aineistojen hallintaan koulutettua henkilökuntaa. Jos päädytään etsimään säilytykseen ulkopuolista toimijaa, tulee ottaa huomioon arkistopalvelun luotettavuus ja vakaus, palvelun hinta, sopimuksen pitkäaikaisuus sekä kysymys siitä, miten datan saa halutessaan arkistosta takaisin omaan käyttöön.

Suomen korkeakoulujen arkistoissa ja niiden käyttämissä tietopalveluissa on jo jonkin verran esimerkiksi tutkimushankkeiden 3D-dataa säilytyksessä, mutta toiminta ei ole erityisen systemaattista tai standardisoitua. Samoin tällä hetkellä Suomen digitaalisen kulttuuriperinnön parissa työskentelevät julkiset toimijat eivät ota virallisesti vastaan yleisön tarjoamaa 3D-dataa. Museovirastossa on vuonna 2024 päivitetty sisäinen 3D-aineistojen säilytys- ja hallintainfrastruktuuri, mutta toistaiseksi suunnitelmia kokoelmien kartuttamiseen ulkopuolisilta tahoilta ei ole.

Tätä ohjeistusta kirjoittaessa keväällä 2024 opetus- ja kulttuuriministeriön omistaman ja CSC:n hallinnoiman [kansallisen pitkäaikaissäilytyspalvelun \(PAS-palvelun\)](#)¹⁵ kehitystyö 3D-tiedostojen tukemiseksi on työn alla. Kun PAS-palvelut tulevaisuudessa pystyvät vastaanottamaan myös 3D-aineistoja, tämä toivottavasti paitsi edistää 3D-arkistoinnin standardisointia ja yleistymistä Suomessa, myös tarjoaa turvallisen loppusijoituspaikan aineistojen pitkäaikaissäilytykseen ainakin korkeakouluille ja kulttuuriperintöorganisaatioille.

Jos 3D-aineisto tilataan kaupalliselta toimittajalta, toimittajan kanssa voidaan tehdä sopimus, jossa toimittaja sitoutuu säilyttämään hankkeen aineiston tietyn rajatun ajan, esimerkiksi viisi vuotta. Tämä on tyypillinen toimintatapa Suomen rakennussektorilla, ja isommilla tietomallinnuksen toimijoilla on hyvät tietoinfrastruktuurit isojen datamäärien säilytykseen ja hallintaan. Tämä ei ratkaise datan lopullista, pitkäaikaista sijoituspaikkaa, mutta voi olla hyvä vaihtoehto väliaikaisesti.

4.4 Metatiedot

Metatieto tarkoittaa yksinkertaistettuna ”tietoa tiedosta”. 3D-datapaketin metatieto on kuvailevaa, tallennettua tietoa esimerkiksi 3D-datan kohteesta, tekijöistä, laitteistosta, kontekstista, rakenteesta ja käyttöoikeuksista. Metatietojen kirjaaminen on olennaista datan ymmärtämisen, löytämisen, hallinnoimisen ja säilymisen kannalta. Ilman metatietojen säilymistä itse datan rinnalla ulkopuoliset tai tulevaisuuden tekijät eivät pysty mielekkäästi

¹⁵ <https://digitalpreservation.fi/>

ymmärtämään tai hyödyntämään dataa. Metadatojen kirjaamiseen, säilyttämiseen ja kuljettamiseen datasisällön rinnalla liittyy omat haasteensa, ja se voi yksinään viedä huomattavasti resursseja.

Organisaatioilla, jotka hallitsevat suuria kokoelma- ja tutkimusdatamääriä, on käytössä erilaisia vakiintuneita standardeja ja ohjelmistoja metadatan hallintaan. Esimerkiksi museoesineiden kokoelmanhallintaan tällaisilla järjestelmillä on myös Suomessa jo omat pitkät historiansa ja niiden ympärille kehitetyt tietoinfrastruktuurit.

3D-tiedostojen ja -projektien metatietostandardien kehitys on kuitenkin ollut jo vuosikausia kansainvälistä yhteisöä askarruttava pähkinä. Yhden yksinkertaisenkin fotogrammetrisen 3D-mallin tuottamiseen on tehty valtava määrä yksittäisiä taltiointihetkiä ja käytetty useita eri laitteistoja ja ohjelmia. Tieto 3D-mallista itsestään on hyvin monimutkaista: tiedostoformaatti, datakoko, polygonien määrä, mittasuhteet, materiaalimääritteet jne. 3D-hankkeissa aineistoa muokataan paljon automaattisesti ja manuaalisesti tietokoneohjelmissa, minkä ilmaiseminen tuleville käyttäjille olisi olennaista lopputuloksen subjektiivisuuden määrän viestimiseksi. Tällaisten prosessien muuntaminen kirjalliseen muotoon systemaattisesti on lähes mahdotonta. 3D-metatietostandardien kehityksen haasteita siis ovat, että

- "3D-datan ymmärtämiseksi ja hyödyntämiseksi" olennaisen ja epäolennaisen tiedon erottelu on vaikeaa
- kaikkien työvaiheiden seuraaminen ja kirjaaminen uskollisesti on epäinhimillisen työlästä
- 3D-datan laatu on niin monimutkaista ja erilaista perinteisiin dokumentointikeinoihin verrattuna, että kaikkia ulottuvuuksia on vaikeaa sujauttaa helposti olemassa oleviin metatietoskeemoihin ja ontologioihin.

Suomessakin olisi kipeä tarve kehittää sekä standardisoitu ontologia että semanttinen tietomalli 3D-aineistojen metadatahallinnalle. Laajasti suomalaisella kulttuuriperintöalalla käytettävässä [KOKO-ontologiassa](#)¹⁶ ei toistaiseksi ole 3D-alan erikoissanastoa. Vaikka useampia kansainvälisiä tutkimusryhmiä työstää tietomallisovelluksia yleisimpiin skeemoihin (myös Suomessa museolalla laajasti käytössä olevaan LIDO-tiedonsiirtoformaattiin), selkeää yhtä ja standardisoitua ratkaisua ei ole toistaiseksi saatavilla. Ulkomailla 3D:tä ajatellen pidemmälle kehitettyjä ja jossain määrin käytössä olevia tietomalleja ovat esimerkiksi [Smithsonian 3D Metadata Model](#)¹⁷ ja [CARARE](#)¹⁸.

16 <https://www.kiwi.fi/display/Finto/KOKO-ontologia>

17 <https://dpo.si.edu/blog/smithsonian-3d-metadata-model>

18 <https://www.carare.eu/en/services/carare-aggregation-services/carare-metadata-schema/carare-version-20/>

3D-hankkeiden tilaajalle, toimittajalle ja haltijalle on myös tärkeää, että metadatan kirjaaminen ja hallinta on realistinen ja käytännönläheinen prosessi eikä vaadi suuria määriä työntekijöitä tai aikaa. 3D- ja kuvatiedostot itsessään säilyttävät paljon teknistä ja prosessia kuvaavaa tietoa. Esimerkiksi e57-pistepilvet voivat sisällyttää tiedon yksittäisten kojeasemien keilauksista ja asetuksista. Ensisijaisen tärkeää on, että lopputuotteiden lisäksi myös raakadata säilytetään: niiden pohjalta tulevat käyttäjät ja tutkijat voivat halutessaan ymmärtää ja rekonstruoida työprosessin lähes kokonaisuudessaan.

Pyytäessä toimittajaa luovuttamaan metatietodokumentteja (esim. mittausraportteja) ja itse niitä laatiessa, kannattaakin työaikaa käyttää ennen kaikkea tiedostojen sisäisten teknisten ominaisuuksien sijaan dokumentoimaan aineiston työprosessin ja laadun ymmärtämisen, käytön ja tulkitsemisen kannalta oleellista tietoa.

Aineiston ohessa säilytettäviin dokumentteihin olisi hyvä kirjata ainakin

- aineiston tekijät ja projektin tausta
- aineiston tekijänoikeudet
- kuvaus mittauksen kohteesta ja tarkoituksesta laajuudesta (esim. dokumentoituinako aineistossa koko rakennus vai vain osia siitä)
- kenttätöiden ja aineiston jälkikäsittelyn ajankohdat
- aineiston tuottamiseen käytetty laitteisto ja ohjelmisto, mahdollisuuksien mukaan asetuksineen
- aineiston mittausperusta ja koordinaatisto vastinpisteineen
- selvitys aineiston laadunvarmistuksesta ja tarkkuudesta
- merkittävästi mittausolosuhteisiin tai aineistoin laatuun tai kattavuuteen kenttätöissä tms. vaikuttaneet tekijät ja poikkeukset
- merkittävien manuaalisten ja subjektiivisten tulkintojen merkitys lopputuloksiin esimerkiksi mallinnusprosessissa
- lista koko aineistopakettin sisällöstä
- tarvittaessa ohjeistus, miten aineistoa voidaan käyttää, esimerkiksi ohjeistamalla tiedostojen avaamiseen oikealla ohjelmistoilla tai ilmaisemalla tiedostoriippuvuudet.

Mitä enemmän metadatan työprosessista ja kontekstista kirjataan, sitä parempi aineiston uudelleenkäyttöarvo on moninaisille käyttäjäryhmille restaurointityöntekijöistä historioitsijoihin. Arkistojalle aivan ideaalissa tilanteessa koko aineistopakettista tuotetaan tekstimuodossa tiedostotason metadatan lähtien mittaushetken kalibrointi- ja asetuspäarametreistä, mutta tämän vaatiminen arkityöläiseltä isojen hankkeiden ollessa kyseessä on

usein liian aikaa vievää. Jos tällaista haluaa kuitenkin kokeilla, vertauspisteinä voi käyttää esimerkiksi [Archaeology Data Servicen](#)¹⁹ (englanniksi) tai [Turun yliopiston arkeologisten kokoelmien 3D-digitointihankkeen](#)²⁰ valmiita Excel-pohjia. Hyvää akateemisempaa (ja ei mitenkään yksimielistä) keskustelua välttämättömien metatietojen rajojen määrittelystä 3D-aineistoille voi lukea (englanniksi) esimerkiksi [EU:n VIGIE 2020/654 -tutkimusraportista](#)²¹ tai kansainvälisen Community Standards for 3D Data Preservation -konserktion kirjasta *3D Data Creation to Curation: Community Standards for 3D Data Preservation*²².

19 <https://archaeologydataservice.ac.uk/help-guidance/instructions-for-depositors/files-and-metadata/>
20 <https://sites.utu.fi/ark3d/3d-digitoinnit/>
21 <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/study-quality-3d-digitisation-tangible-cultural-heritage>
22 <https://cs3dp.org/2022/06/29/cs3dp-book-now-available/>

5

Käytännön ohjeita rakennusten 3D-digitoinnin tilaamiseen

Suurin osa Suomessa rakennussektorilla tapahtuvasta 3D-mallintamisesta ei ole skaalaltaan laajaa tai tarkkuudeltaan tiheää: hallinnollista suunnittelua, remontteja ja vastaavia hankkeita varten lähtötiedoiksi tyypillisesti riittää rakenteiden ja tilan yksinkertainen geometria, tai vain pienet osat rakennuksen kokonaisuudesta mallinnetaan yksittäistä projektia varten.

Kun kulttuuriperintötavoitteet tuodaan mukaan digitointi-
projektiin, kriteerit muuttuvat. Rakennusurakoitsijaa saattaa kiinnostaa esimerkiksi vain rakennuskohteen oven karmien sijainti, pituus, leveys ja syvyys. Kulttuuriperinnön asiantuntija puolestaan haluaisi lisäksi tutkia karmien maalipinnan kuntoa, käsityön laatua, ikää, materiaalien alkuperää ja muuta rakenteen laajempaa fyysistä ja historiallista kontekstia. Esimerkiksi puun veistotekniikan laatua tai pintaeroosioita voi hyvin analysoida tiheästä 3D-datasta.

Petäjäveden kirkon 3D-datasta tuotettu julkisivukuva. Kuva: Tietoa Finland Oy/Museovirasto.



Kohdetta 3D-digitoidessa rakennusurakoitsija siis usein tyytyy suhteellisen harvasta ja nopeasti kerätystä pistepilvestä rekonstruktioihin mittoihin, kun taas Kulttuuriperinnön asiantuntija mieluiten ottaisi vastaan huipputarkkaa dataa ja sen lisäksi korkearesoluutioista, valokuvapohjaista tekstuuridataa

esimerkiksi maalipintojen tutkimiseen. Kulttuuriperinnön asiantuntija myös saa eniten irti rikkaille metatiedoilla varustetusta 3D-datasta, joka varmistaa materiaalin tutkimisen, uusiokäyttämisen ja säilyvyyden digitoitintilanteen jälkeenkin.

Mitä kaikkea rakennuksesta sitten tulee dokumentoida ja millaisella data-laadulla, että voidaan sanoa kohteen olevan riittävän hyvin "3D-digitoitu" kulttuuriperintötyötä varten? Esimerkiksi [Euroopan unionin ajankohtaisissa suosituksissa](#)²³ ei ole selvää määritelmää sille, mitä rakennetun kulttuuriympäristön kohteen "3D-digitointi" oikeastaan tarkoittaa.

3D-digitoinnin tavoite kulttuuriperintösektorille on, että kohteen **jälleenrakentamisen** tulisi olla mahdollista pelkästään 3D-datan perusteella. EU:n suositukset ja EU-komission tilaama tutkimusraportti, VIGIE 2020/654, eivät anna tarkkoja määreitä (esim. 3D-aineiston tiheys, tarkkuus, sallitun virheen määrä, resoluutio, datakoko), mutta selkeä yhtenäinen tavoite on, että 3D-digitointi toimisi eräänlaisena rakennusten digitaalisena "varmuuskopioimisena" vaurioiden tai tuhoutumisen varalta.

Jos jälleenrakentamisen tavoitteen kommunikoi digitoinnin toimittajalle, päästään yleensä nopeasti samalle aaltopituudelle siitä, millaista skaalaa ja laatua tuotettavan aineiston tulisi edustaa. Tässä osuudessa annetaan tarkempia käytännön neuvoja arvoraakennusten 3D-projektien tilaamisesta ja toimittamisesta niin, että data palvelee myös kulttuuriperintötavoitteita.

5.1 3D-digitointihankkeen rajaaminen

Rakennetun kulttuuriympäristön kohteet ovat usein monikerroksisia, pitkän elinkaaren kokonaisuuksia. Voikin olla haastavaa rajata, mikä on kohteelle ominaista "kulttuuriperintöä". Siksi on tärkeää, että suunnitteluvaiheessa määritellään selkeästi, mitkä ovat kohteen ainutlaatuiset, suojelun arvoiset erityisominaisuudet. Tämä auttaa hankkeen työnkulun ja resursoinnin suunnittelua ja varmistaa, että tärkeimmät piirteet saadaan dokumentoitua riittävän laadukkaasti.

Historiallisen kirkon digitoinnissa saatetaan todeta, että 00-luvulla lisättyä sosiaalitulojen siipeä ei ole tärkeää saada fotogrammetrisesti mitattua, jotta voidaan säästää resursseja tärkeämpiin osuuksiin. Toisaalta joskus itse rakennuksen lisäksi sen välitön ympäristö voi olla dokumentoimisen arvoista kulttuuriperintöä, esimerkiksi kirkon historiallinen hautausmaa. Toisin kuin tavallisissa kaupallisen ja teollisen sektorin rakennusten 3D-mittauksissa,

23 <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/commission-proposes-common-european-data-space-cultural-heritage>

kulttuuriperintökohteissa myös erilaiset yksityiskohdat ja irtaimisto, esimerkiksi koristeveistokset, huonekalut ja maalipinnat, ovat usein olennainen osa kulttuuriperintökokonaisuutta.

Jos kaikista elementeistä halutaan saada 360° kuvapeittoa huipputarkkaa kolmiulotteista digitointia varten, työmäärä nousee nopeasti eksponentiaalisesti. Esimerkiksi vanhoissa kirkoissa pelkkä alkuperäisten kirkonpenkkien 3D-digitointi vaatii jo huomattavaa työmäärää: laitteistoa pitää todennäköisesti viedä tallentamaan dataa erikseen jokaiseen penkkiväliin, kenties penkkien allekin. Perusoletus on, että 3D-laitteisto tallentaa dataa vain noin silmäkorkeudelta. Jos kokonaisuuden taltiointiin tarvitaan kuvakulmia ylä- ja alaviistosta, niin matalalta kuin korkealtakin, isoissa ja monimutkaisissa tiloissa digitointiin tarvitaan mitä todennäköisimmin erikoisvarustusta, kuten lennokkikameroita, telineitä, teleskooppivarsia ja jopa kiipeilyvarusteita. Jotkut skannerit ja kamerat soveltuvat paremmin ahtaisiin ja pieniin tiloihin kuin toiset, ja pimeiden tilojen valaisuun pitää kenties tuoda tarkoituksenmukaista laitteistoa.

Monissa kulttuuriperintökohtaisessa täydellinen, millimetrien tarkan datakattavuuden saavuttaminen kaikista elementeistä onkin usein epärealistista, ja viimeistään budjetti voi tulla vastaan. Perfektionisti mittaa suurimpien kohteiden 3D-digitoinnin kenttätyön keston enemmänkin viikoissa kuin päivissä.

Näistä syistä onkin tärkeää, että hankkeen suunnittelun aikana konsultoidaan tiivistä kohteen hyvin tuntevaa asiantuntijaa ja määritetään, mitä ominaisuuksia, alueita ja rakenteita kokonaisuudesta tulisi priorisoida. Valintoja tulisi ohjata koettu kulttuurihistoriallinen arvo sekä kohteen suojelun vaatimukset. Jos esimerkiksi perustojen kulmien vajoamisen seuranta tai koristeveistosten eroosio ovat erityisiä huolenaiheita, on tämä hyvä kommunikoida selkeästi 3D-mittauksen toimittajalle.

5.2 Tuotettavan 3D-aineiston määrittely

5.2.1 MITTA-AINEISTON TARKKUUS JA LAATU

Tilattavan 3D-aineiston laadun määrittely voi olla etukäteen vaikeaa 3D-dokumentoinnin ammattilaisellekin. Jokaisessa hankkeessa käsitykset tarvittavista lähtötiedoista ovat erilaisia, ja ennen kenttätöiden aloittamista voi olla vaikeaa arvioida, millaisia mittaus- ja laskentamenetelmiä on mielekästä käyttää erilaisissa tiloissa kohteen erityisominaisuudet huomioiden ja millaisia rajoitteita esimerkiksi yllättävät ympäristötekijät voivat tuoda.

Kuten edellisissä osuuksissa on jo todettu, hyvä tarjouspyyntöön tai hankintasopimukseen asetettava laatumääre on se, että kohteen jälleenrakentamisen tulee olla mahdollista 3D-aineiston pohjalta. Tämä ei tietenkään tarkoita, että kohteen tuhoutuminen on odotettavissa. Tavoitteena se on hyvä ohjenuora, joka ohjaa mittaustyön suunnittelussa ja toimittamisessa tehtäviä valintoja. Tämä on myös esimerkiksi Ruotsin kulttuuriperintöviranomaisen [Riksantikvarieämbetetin suosittama lähtökohta](#)²⁴.

Jos esimerkiksi tarjouspyynnössä on tarpeen määritellä teknisempiä minimivaatimuksia, pohjana voi käyttää RT-kortiston rakennusalalle määrittämiä ohjeita:

RT 103132, Fotogrammetrian käyttö rakennushankkeessa (1/2019):

Mallinnuksen mittausperustan, käytettävän koordinaatiston ja halutun mittatarkkuuden lisäksi on sovittava mallinnuksen yksityiskohtaisuudesta. Tyypillisesti yksityiskohtaisuutta voidaan arvioida esimerkiksi kuvapikselin maastoresoluutiolla (Ground sampling distance, GSD), joka aluemaisissa fotogrammetrisissa mallinuksissa on tyypillisesti luokkaa:

- n. 3...5 cm pikselikoko maarakennuskohteissa
- n. 1 cm pikselikoko rakennuksen pinnoilla
- jopa mm-luokan resoluutio yksityiskohtien mallinuksessa.

RT 103133, Rakennuksen laserkeilaus (10/2019):

Sallittu virhe voidaan esittää esimerkiksi seuraavasti: määrittelemättömissä rakennuksen kohteissa ± 25 mm erityistä mitoitustarkkuutta vaativissa kohteissa ± 10 mm aluemaisissa maastokohteissa ± 100 mm.

Lisäksi laserkeilauksen suhteen voi olla hyvä asettaa tavoiteltu pistetiheys, joka siis toimii tapana ilmaista aineiston yksityiskohtaisuutta. Kulttuurikohteissa on hyvä tavoitella mahdollisuuksien mukaan ainakin RT-kortiston suosittaman 5–20 mm pistevälin alempia lukuja.

Jos kohteeseen kuuluu esimerkiksi freskoja tai muita arvokkaita maalaus-pintoja, joiden laadukas digitointi osana 3D-aineistoa on tärkeää, on hyvä myös keskustella toimittajan kanssa siitä, miten valokuvapohjaisen dokumentoinnin väriprofiloinnin ja kuvanlaadun tasaisuus koko aineistossa varmistetaan.

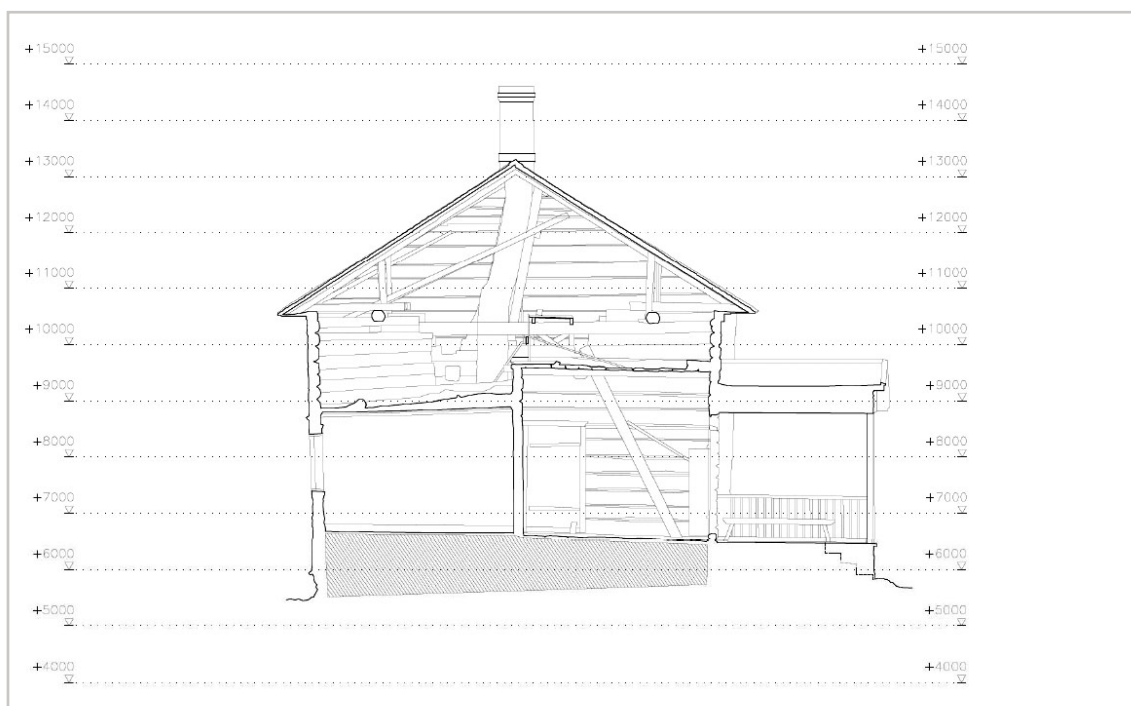
²⁴ <https://raa.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1767664&dswid=-7292>

5.2.2 GEOREFEROINTI

Lähtökohtaisesti 3D-mittauksen toimittajat eivät yleensä pyytämättä sido aineistoaan paikkatietoihin. Sen sijaan kerätty aineisto rakennetusta kohteesta yleensä rekisteröidään yhteen pelkästään "tietokoneavaruudessa" olemassa olevaan yhdistettyyn xyz-projektikoordinaatistoon, jossa on taso- ja korkeuskoordinaatisto.

Rakennetun ympäristön kohteissa on kuitenkin suositeltavaa, että aineisto sidotaan kansallisiin leveys- ja korkeuskoordinaatistoihin (tai muihin vakioihin). Tämä helpottaa huomattavasti, jos tulevaisuudessa sama kohde halutaan dokumentoida uudestaan esimerkiksi muutosten vertailua ja kunto-seurantaa varten tai jos samaa aineistoa halutaan myöhemmin täydentää uusilla osuuksilla. Aineiston sitominen kansalliseen koordinaatistoon vaatii maanmittauksen osaajan tuomista kenttätöihin tekemään runkopistemitauksia, joten se tuo jonkin verran lisäkustannuksia hankkeelle.

5.2.3 MITTAUSDOKUMENTIT



Seurasaaren Antin talon 3D-datasta tuotettu vektoroitu mittausdokumentti. Kuva: Tietoa Finland Oy/Museovirasto.

Rakennusten 3D-dokumentoinnin yhteydessä tuotetaan yleensä kahdenlaisia mittausdokumentteja: **projekti- tai ortokuvia**, ja **tietokoneavusteisia mittauspiirustuksia**. Mittatarkat 3D-mittauspiirustukset ovat arvokkaita työkaluja paitsi kohteiden dokumentointiin myös restaurointihankkeiden suunnitteluun sekä niihin liittyviin tutkimuksiin ja vauriokartoituksiin.

Projektio- ja ortokuvissa on kyse joko fotogrammetrisen tai laserkeilatu kolmiulotteisen geometria- ja tekstuuri-datan renderöinnistä kaksiulotteisiksi visualisoinneiksi ja mittausdokumenteiksi. Sanoja käytetään pitkälti synonyymeina: "ortografinen projektio" tarkoittaa kolmiulotteisen kohteen esittämistä kaksiulotteisena. Näin 3D-aineistoista saadaan helppokäyttöisiä, fotorealistisia visualisointeja esimerkiksi kuntoseurantaan ja restaurointi-suunnittelua varten.



Seurasaaaren Antin talon 3D-skannausdatasta tuotettu projektioleikkauksenäkymä. Kuva: Tietoa Finland Oy/Museovirasto.

Tietokoneavusteissa mittauspiirustuksissa piirtäjä käyttää 3D-aineistoa referenssinä, ja vektoripohjaisella piirtämisellä tuottaa kaksiulotteisia mittausdokumentteja. Perinteisesti nämä tehdään AutoCAD-ohjelmalla, ja siksi tämäntyyppisiä dokumentteja kutsutaan usein vain "CADEiksi". Prosessi ei ole mitenkään täysautomatisoitu, vaan sisältää paljon manuaalista työtä ja subjektiivisia valintoja siitä, mitä aineistoista valitaan esitettäväksi. Yleensä dokumentteihin lisätään myös mittautietoja, suhteita, paikkatietoja jne. Valmiita vektoripiirustuksia voidaan käyttää vain perinteisten paperipiirustusten tapaan. Esimerkiksi DWG-formaatissa voi olla mukana piirtäjän jättämiä interaktiivisia ominaisuuksia, kuten mahdollisuus tutkia yksittäisiä kerroksia erikseen.

Mittauspiirustuksia tilatessa määritellään mahdollisimman tarkasti, millaisista kuvakulmista ja leikkauksista lopputuotteet halutaan ja millaisia mittoja ja suhteita niiden pitäisi ilmaista. Piirustusten tulisi olla tarkkuudeltaan ja rakennusosien esittämisen yksityiskohtaisuudeltaan sellaisia, että niistä voidaan tulostaa 1:20-mittakaavassa olevat piirustukset. Tulostettuja piirus-

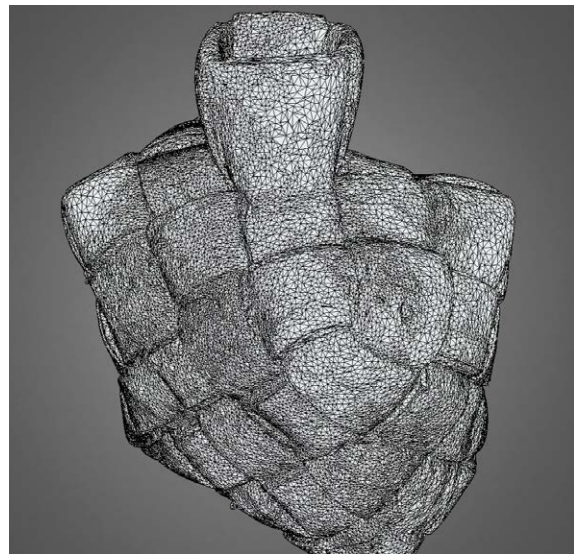
tuksia tulee voida käyttää restaurointisuunnittelun lähtökohtapiirustuksina ja työpiirustusten piirros pohjina RT-kortin 15-10849 mukaisesti²⁵.

Rakennussektorilla on myös laajasti käytössä pelkästään digitaalisessa muodossa tutkittavaksi tarkoitettut tietomallit, **BIMit, Building Information Model**. BIMejä suunnitellaan usein sisältämään pelkän geometrian lisäksi hyvinkin monimutkaista ja moniulotteista tietoa rakennuksesta, esimerkiksi rakennuksen elinkaaresta, ilmanvaihdosta ja lämmityksestä.

5.2.4 3D-MALLIT (KOLMIOVERKKOMALLIT)



Kansallismuseon kokoelmien suolatölkistä (SU4816:223) tehty kolmioverkkomalli teksturoituna. Malli: Ilari Järvinen / Museovirasto



Kansallismuseon kokoelmien suolatölkistä (SU4816:223) tehdyn kolmioverkkomallin rautalankänäkymä ilman tekstuuria. Malli: Ilari Järvinen / Museovirasto

Kolmioverkkomallit ovat yleisölle tutuin 3D-datan media ja yleisimpiä 3D-skannatusta datasta tuotettavia lopputuotteita. Kolmioverkkomalleja voidaan tuottaa suoraan taltioidusta 3D-datasta esimerkiksi fotogrammetriaohjelmistoilla. Niitä voidaan myös muokata pidemmälle esimerkiksi lisäämällä tai poistamalla elementtejä tai luomalla kokonaan uusia malleja 3D-sovelluksilla.

3D-verkkomallin tiedosto sisältää monimutkaista tietoa geometriasta polygoneina, kulmina, pisteinä linjoina, koordinaatistoina, suhteina ja usein myös tekstuureina, jotka muodostavat kolmiulotteisen digitaalisen kopion niin, että kohdetta voidaan tarkastella, manipuloida ja soveltaa tietokonesovelluksissa 360 asteessa. Siinä missä digitaaliset valokuvat muodostuvat kaikki pohjimmiltaan pikseleistä, kolmioverkkomallien kolmiulotteinen

25 Muutos- ja korjausrakentamisen piirustukset <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2015-10849>

geometria muodostuu myös vastaavista pienemmistä geometrian palasista. Kuvat 10 ja 11 havainnollistavat, miltä kolmioverkkomallin geometria näyttää ilman tiedoston tekstuuria.

Mitä suurempi lukumäärä polygoneja mallissa on, sitä tarkempi malli on – huipputarkoissa malleissa voi olla miljoonia polygoneja. Mitä monimutkaisempi geometria tiedostossa ja mitä suurempi resoluutio kuvapohjaisissa tekstuureissa on, sitä raskaampaa mallin katselu ja soveltaminen reaaliajassa on tietokoneelle tai verkolle ja sitä suuremmaksi tiedoston datakoko käy. Tämän takia 3D-digitoituja malleja joudutaan usein yksinkertaistamaan sovelluksia ja verkkojako varten. Prosessia kutsutaan **optimoinniksi**.

On tärkeä muistaa, että optimoinnissa tarkkuus kärsii aina verrattuna alkuperäiseen dataan, mikä vaikuttaa siihen, kuinka tarkkoina kopioina kohteesta malleja voidaan käsitellä esimerkiksi yleisö- tai tutkimustyössä. 3D-ohjelmistot pystyvät nykyään tuottamaan erikokoisia optimointeja automatisoidusti, mutta usein mallien optimointi vaatii myös manuaalista muokkaamista. Optimointi on oma taiteenlajinsa, jossa tasapainotellaan tarkkuuden, käytettävyyden ja visuaalisen kokemuksen välillä. Hyvin muokatut ja laadukkaat tekstuurit pystyvät usein antamaan tarkemman ja fotorealistisen vaikutelman mallista, jonka pohjan pintageometria olisikin redusoitu hyvin yksinkertaiseksi.

Verkossa kolmioverkkomallien jakamiseen tarkoitetut palvelut antavat yleensä ylärajat sille, kuinka suuren datakoon tiedostoja niissä voi ladata ja jakaa, sekä määrittävät niissä toimivat tiedostoformaatit. Esimerkiksi [Finna-palvelun 3D-katseluohjelma](#)²⁶ voi näyttää vain glb- tai glTF-formaattien 3D-tiedostoja, joiden datakoko on enintään 100 mb.

Kolmioverkkomalleja tilatessa tai tehdessä onkin tärkeää selvittää käyttötarkoitukseen soveltuvat tarkat tekniset parametrit ja kommunikoida toimittajalle etukäteen selkeästi, missä sovelluksessa lopputuotetta on tarkoitus käyttää, jotta aineisto voidaan optimoida tarkoitukseen sopivaksi.

26 <https://www.kiwi.fi/pages/viewpage.action?pagelId=212796002>

5.3 Mittaustyön toimittajan osaaminen

3D-digitointia varsinkin pienistä kohteista voi kuka tahansa kokeilla itsekkin. Verkossa on nykyään saatavilla useampia ilmaisohjelmia ja -oppaita, joilla kärsivällinen tekijä voi hyvin oppia tekemään laadukkaita fotogrammetriamalleja esimerkiksi verkkojakoa varten. On silti syytä investoida hyvään kameraan ja tietokoneeseen.

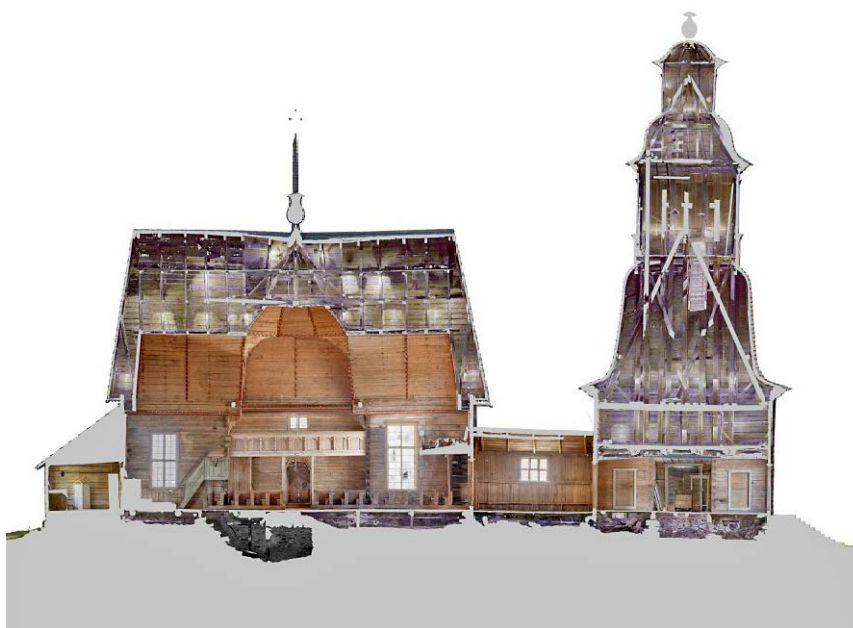
Jos kuitenkin halutaan laadukasta ja huipputarkkaa 3D-dataa, jota voidaan käyttää mielekkäästi rakennetun kulttuuriympäristön suojelussa ja tutkimuksessa, harrastelijalle tulee nopeasti seinä vastaan. Rakennettujen kohteiden 3D-digitointi vaatii yleensä monihenkisen työryhmän, jonka laaja osaaminen sisältää niin maanmittauksen, rakennustiedon, valokuvaamisen, laserkeilauksen, 3D-mallintamisen kuin kulttuuriperinnön ammattitaitoa. Mittatarkkojen 3D-datasettien tuottamiseen vaadittavan laitteiston, ohjelmiston ja osaamisen keräämisen hintalappu kohoaa nopeasti satoihin tuhansiin euroihin. Näin ollen rakennuksen 3D-digitoinnin tilaaminen ulkopuoliselta taholta on yleensä kulttuuriperintöorganisaatioille ainoa vaihtoehto.

Suomessa toimii useita rakennusmallinnukseen erikoistuneita yrityksiä, mutta kaikilla ei välttämättä ole kokemusta tai valmiuksia tuottaa mittatarkkoja ja laadukkaita 3D-aineistoja kulttuuriperintökohteista. Monimutkaiset kohteet voivat vaatia useita hyvin erilaisiin tiloihin soveltuvia laitteita, ja kaikilla yrityksillä ei ole valmiuksia esimerkiksi rakennustelineiden pystyttämiseen tai arkkitehtuuripiirustusten tuottamiseen. Olisi hyvä myös, jos toimittajalla olisi ennestään kokemusta ja ymmärrystä arvokkaassa kulttuuriperintökohteessa toimimisen rajoituksista: mittaustyöstä ei saa jäädä minkäänlaisia jälkiä.

Hyvä käytäntö tarjousvaiheessa on pyytää harkinnassa olevilta toimittajilta referenssejä edellisistä 3D-digitointiprojekteista. Voit pyytää nähtäväksi esimerkiksi mittausdokumentteja, laserkeilausaineistoja, pintamalleja, videoita tai muita 3D-lopputuotteita toimittajan mallintamista kohteista, jotka vastaavat omaan hankintaasi kuuluvia medioita ja kohteita. Vaadittavaa asiantuntemusta voi pyytää osoittamaan myös maanmittauksen, rakennustekniikan, tietomallintamisen, tai muun rakennetun ympäristön 3D-digitoinnin koulutustaustalla tai työkokemuksella.

5.4 Kenttätöön suunnittelu ja 3D-digitoinnin rajoitukset

3D-teknologiallakin on omat rajoituksensa. Muutamia yleisiä esteitä, jota 3D-mittauksen toimitukselle tai aineiston laadun optimoimiselle, jotka usein nousevat eteen rakennuksia digitoidessa, on hyvä ymmärtää. Niitä on eritelty alla.



Petäjäveden vanhan kirkon 3D-datasta tuotettu leikkauskuva. Kuvassa näkyy kirkon kirkkosalissa ja yläpohjassa taltioidun datan ero: kirkkosalissa myös valokuvapohjainen fotogrammetrinen dokumentointi oli mahdollista, kun taas pimeässä yläpohjassa voitiin käyttää vain laserkeilausta. Kuva: Tietoa Finland Oy/Museovirasto.

5.4.1 VALAISTUS

Ideaali mittaustyön ympäristö on mahdollisimman hyvin ja tasaisesti valaistu ja kovat kontrastit ja varjot on minimoitu – esimerkiksi luonnonvalo pilvisenä päivänä. Luonnollisesti isoissa ja monimutkaisissa rakennetuissa kohteissa valaistuksen manipulointi mittausta varten on itsessään monimutkainen ja iso urakka – varsinkin, jos kohteesta halutaan saada taltioitua tarikan pintageometrian lisäksi laadukasta tekstuuria valokuvilla.

Sisätilojen mittauksissa voidaan harkita esimerkiksi ikkunoiden ja muiden kovaa valoa langettavien aukkojen peittämistä ulkopuolelta tai erillistä valaistuslaitteistoa. Valaistuslaitteistojen kanssa työskentely on kuitenkin useimmissa tapauksissa liian haastavaa ja työlästä, koska valaistuksen taseisuutta on keinovaloilla isoissa tiloissa vaikea varmistaa ja itse valaistuslaitteiston näkymistä mittausedatassa halutaan välttää. Luonnostaan hyvin pimeissä sisätiloissa fotogrammetrinen mittaus onkin usein mahdotonta, jol-

loin niissä usein päädytään käyttämään vain laserkeilausta. Laserkeilaimien kanssa puolestaan pimeään aikaan mittaaminen saattaa joissain tilanteissa taata tasaisimmat tulokset.

5.4.2 TILOJEN AHTAUS

Niin kamerat kuin laserskannerit tarvitsevat tarpeeksi etäisyyttä kohteeseen toimiakseen hyvin, joten hyvin pieniä ja ahtaita tiloja digitoidessa voidaan joutua turvautumaan vaihtoehtoisiin laitteisiin, kuten rakennevalo- tai käsis-kannereihin.

5.4.3 SÄÄ

Ulkona tapahtuvalle julkisivujen mittaukselle ideaali olosuhde on pilvinen päivä. Pieni tihkusade ei välttämättä vielä haittaa, mutta selkeästi näkyvyyttä vaikeuttava vesi- tai lumisade, sumu, vesihöyry, savu tms. tekee mittaustyöstä mahdotonta. Liian kova tuuli voi estää lennokeilla kuvaamisen. Aurinkoisella säällä varjoista ja kontrasteista tulee kovia, mikä ei sinänsä estä mittaustyötä mutta näkyy luonnollisesti valokuvapohjaisen mittauksen lopputuloksissa. Ulkona tapahtuville kenttätöille onkin hyvä sopia mahdollisimman joustava aikataulu ja säävaraukset.

5.4.4 HEIJASTAVAT PINNAT JA LASI

Kaikki valoa voimakkaasti taittava ja hajottava materiaali, kuten kirkkaat metallipinnat, lasi, peilit ja vesipinnat, ovat haastavia kohteita sekä laserskannaukselle että fotogrammetrialle. Heijastava materiaali joko tuottaa paljon kohinaa mittausaineistoon tai tekee samojen pisteiden rekisteröinnin laskennoissa mahdottomaksi, minkä tuloksena pintageometria vääristyy lopputuloksissa. Yleensä rakennetuissa kohteissa merkittäviä tällaisia pintoja ovat vain ikkunat, jotka voi tarvittaessa peittää yksivärisillä lakanoilla tai siistiä jälkikäsitellyssä loppuvisualisointeja varten. Markkinoilla on erilaisia väliaikaisia suihkeita, jotka tekevät heijastavista materiaaleista mattapintaisia 3D-skannausta varten, mutta kulttuuriperintökohteissa niiden käyttö ei yleensä tule kysymykseen.

Lähteet

Data requirements table - Archaeology Data Service <https://archaeologydataservice.ac.uk/help-guidance/instructions-for-depositors/files-and-metadata/>

3D-aineistojen näyttäminen Finnassa - Kiwi.fi <https://www.kiwi.fi/pages/viewpage.action?pagelId=212796002>

Kansallisen pitkäaikaispalvelun määrittelyt - Digital Preservation FI <https://www.digitalpreservation.fi/specifications>

VIGIE 2020/645. Study on quality in 3D digitisation of tangible cultural heritage: Mapping parameters, formats, standards, benchmarks, methodologies, and guidelines: final study report. - Euroopan komissio <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/dc1c4098-b551-11ec-b6f4-01aa75ed71a1/language-en>

Kun kulttuurikohde tuhoutuu, 3D-digiarkisto auttaa jälleenrakentamisessa - Aalto-yliopisto <https://www.aalto.fi/fi/uutiset/kun-kulttuurikohde-tuhoutuu-3d-digiarkisto-auttaa-jalleenrakentamisessa>

Basic principles and tips for 3D digitisation of cultural heritage - Euroopan komissio <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/basic-principles-and-tips-3d-digitisation-cultural-heritage>

Comission proposes a common European data space for cultural heritage - Euroopan komissio <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/commission-proposes-common-european-data-space-cultural-heritage>

Museviraston virallinen Sketchfab-tili - Sketchfab <https://sketchfab.com/Museovirasto/models>

Laser scan may one day aid Notre Dame's restorers - The Art Newspaper <https://www.theartnewspaper.com/2019/09/16/laser-scan-may-one-day-aid-notre-dames-restorers>

Back-up Ukraine! - Polycam <https://poly.cam/ukraine>

3D-digitalisering : en förstudie (diva-portal.org) <https://raa.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1767664&dswid=2349>

Kaikki linkit todettu toimiviksi toukokuussa 2024.

LIITE 1

Muistilista 3D-digitointi-projektin tilaamiseen

3D-digitointi on oma tekninen taiteen- ja tieteenlajinsa, johon perehtymisen vaatii usein vuosien koulutusta ja kokemusta. Oletus onkin, että sinun kulttuuriperintökohteen haltijana ja 3D-digitoinnin tilaajana ei tarvitse pystyä tietämään kaikkea kaikesta, vaan voit määritellä 3D-digitointiprojektin lopputuotteet ja työnkulun yhdessä asiantuntevan toimittajan kanssa. Tämä lista on tarkoitettu lyhyeksi muistioksi asioista, jotka on kuitenkin hyvä tietää neuvottelut aloittaessa ja joita toimittaja ei välttämättä omasta aloitteestaan osaa tuoda ilmi.

- 1. Määrittele, mitä haluat 3D-datalla tehdä.** Tarvitsetko lähtötietoja kuntoremonttia varten, aiotko tuottaa mittausdokumentteja, tehdä "digitaalisen arkistokopion" rakennuksesta, julkaista 3D-malleja yleisölle verkossa, rakentaa virtuaalikokemuksen tai tehdä 3D-printattuja kopioita kohteesta? Tilattavan 3D-datan lopullinen tarkoitus vaikuttaa huomattavasti siihen, millainen 3D-digitointiprosessi sopii tilanteeseen parhaiten, missä formaatissa tarvitsit lopputuotteita ja kuinka paljon 3D-digitointi maksaa.
- 2. Konsultoi kohteen hyvin tuntevan asiantuntijan kanssa,** jos et itse tunne kohdetta hyvin kulttuuriperintönäkökulmasta. Asiantuntija osaa kertoa, mihin kohteen elementeistä digitointiprojektissa on tärkeintä keskittyä ja millaisia rajoituksia kohde asettaa mittausten tekemiselle.
- 3. Pyri korkeimpaan mahdolliseen laatuun,** kun määrittelet tilattavan aineiston vaatimuksia ja tavoitteita. Seuraa tämän ohjeistuksen suosituksia niin pitkälle kuin resurssisi riittävät.

- 4. Selvitä jo ennen 3D-aineiston tilaamista, missä aiot dataa säilyttää.** Digitointiin käytetty raha menee hukkaan, jos projektissa syntyvää aineistoa ei pystytä säilyttämään niin, että sitä voitaisiin hyödyntää vielä vuosien päästä.
- 5. Pyydä harkinnassa olevilta toimittajilta referenssejä edellisistä 3D-digitointiprojekteista.** Suomessa toimii useita rakennusmaalinukseen erikoistuvia yrityksiä, mutta kaikilla ei ole kokemusta tai valmiuksia tuottaa mittatarkkoja ja laadukkaita 3D-aineistoja kulttuuriperintökohteista. Kilpailutusvaiheessa voit pyytää referensseiksi esimerkiksi mittausdokumentteja, laserkeilausaineistoja, pintamalleja, videoita tai muita 3D-lopputuotteita toimittajan mallintamista kohteista, jotka vastaavat omaan hankintaasi kuuluvia medioita ja kohteita. Vaadittavaa asiantuntemusta voi pyytää osoittamaan myös maanmittauksen, rakennustekniikan, tietomallintamisen tai muun rakennetun ympäristön 3D-digitoinnin koulutustaustalla tai työkokemuksella.
- 6. Suunnittele kenttätöön ja mallintamisen työnkulku yhdessä toimittajan kanssa.** Jos mahdollista, järjestäkää suunnittelukäynti kohteessa. Kohteen erityisominaisuudet vaikuttavat mittauksen suorittamiseen, aikataulutukseen ja lopputuotteiden laadun mahdollisiin rajoituksiin.
- 7. Viimeistele tilattavien lopputuotteiden määrittely yhdessä toimittajan kanssa.**
- 8. Määritä, millaiset omistus- ja tekijänoikeudet tuotetusta aineistosta syntyy sekä tilaajalle että toimittajalle.** Pyri siihen, että aineistoa ja siitä kertovaa tietoa voisi jakaa yleiseen käyttöön mahdollisimman vapaasti ja avoimesti.
- 9. Laatikaa 3D-dokumentointihankkeen työnannosta hankintasopimus,** jossa on mahdollisimman tarkasti kuvailtu sovitut kenttätöön suunnitelmat, lopputuotteet, aikataulut ja oikeudet.
- 10. Pyydä hankintasopimuksessa toimittajaa toimittamaan hankkeesta mittausraportti,** joka kattaa kohdassa 3.3.4 annettujen metatietojen suositusten vaatimukset.



Museovirasto

museovirasto.fi