

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknistoloudellinen tiedekunta

Tietotekniikan koulutusohjelma

Diplomityö

Heikki Sateila

KOLMIULOTTEISEN KULTTUURIPERINTÖKOHTEN DIGITOINTIPROSESSI

Työn tarkastaja(t): Professori Ville Kyrki
Projektipäällikkö Juhani Grönhagen, Mikkelin ammattikorkeakoulu

Työn ohjaaja(t): Paikkatietoasiantuntija Esa Hannus, Mikkelin ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknistaloudellinen tiedekunta

Tietotekniikan koulutusohjelma

Heikki Sateila

Kolmiulotteisen kulttuuriperintökohteen digitointiprosessi

Diplomityö, 2011

62 sivua, 7 kuvaa

Työn tarkastajat: Professori Ville Kyrki

Projektipäällikkö Juhani Grönhagen, Mikkelin ammattikorkeakoulu

Hakusanat: 3d-digitointi, tiedonkeruu, prosessi, kulttuuriperintö, pitkäaikaissäilytys, arkistointi

Dokumenttien, valokuvien, videon ja äänen digitoinnin rinnalle on syntynyt tarve digitoida kohteita kolmiulotteisesti. Kolmiulotteinen digitointi asettaa digitoinnille uusia haasteita, sillä kohteista on kerättävissä hyvin paljon dataa. Digitointia varten tarvitaan siis prosessi jossa määritellään mitä kohteesta tulee digitoida ja miten tämä tehdään, jotta työ pystytään tekemään järkevässä ajassa järkevin kustannuksin. Työssä tutkittiin kirjallisuustutkimuksen ja kolmen digitointikohteen kautta miten prosessi tulisi muodostaa. Lopputuloksena muotoutui prosessimalli, jossa vaiheittain toteutetaan erilaisten työryhmien kanssa digitointisuunnitelma, laitevalinnat sekä digitointityö. Prosessin avulla digitointihankkeen suunnittelu helpottuu ja kustannusten sekä projektin etenemisen esittely asiakkaalle on yksinkertaista.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology Management
Degree Program in Information Technology

Heikki Sateila

Digitizing process for three-dimensional cultural heritage targets

Master's Thesis, 2011

62 pages, 7 figures

Examiners: Professor Ville Kyrki

Project Leader Juhani Grönhagen, Mikkeli University of Applied Sciences

Keywords: 3d-digitizing, data gathering, process, cultural heritage, long term retention, archiving

Documents, photographs, sound and video have been digitized for nearly two decades now, and the need to digitize varying objects in three dimensions has been developed. Three-dimensional digitization presents new challenges to the digitization processes. Targets contain a very large amount of data. Because of this a process to determine what and how to digitize is needed. The process needs to determine how the task in each project can be accomplished in a reasonable amount of time and effort. In this thesis, the problem was approached with literature study and case studies of three different digitization cases. As a result a process model for digitization planning was created, where digitization plan, equipment and digitization project will be defined in stages. With the model it will be simpler to evaluate the costs of the digitization project and easier to present the project to the customer.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Lappeenrannan teknillisen yliopiston Teknistaloudellisessa tiedekunnassa tietotekniikan koulutusohjelmassa. Diplomityö on osa Mikkelin ammattikorkeakoulun ESR-rahoitteista Viva3-hanketta.

Haluan kiittää yhteistyöstä ja uusista näkökulmista Viva3-projektipäällikkö Juhani Grönhagenia ja paikkatietoasiantuntija Esa Hannusta erinomaisesta ohjauksesta tietolähteiden äärelle sekä asiantuntevasta että innostuneesta opastuksesta ja yhteistyöstä projektin aikana. Kiitokset kuuluvat myös projektissa mukana olleille Mikkelin ammattikorkeakoulun opiskelijoille jotka ovat olleet mukana tutkimustyössä projektikohteissa.

Erityisesti haluan kiittää vaimoani Hetaa pohjattomasta kärsivällisyydestä ja tuesta opinnoissani.

Jyväskylässä 6.11.2011

Heikki Sateila

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	4
1.1	TYÖN TAUSTA.....	4
1.2	TYÖN TAVOITTEET.....	5
1.3	TYÖN RAKENNE.....	6
2	TUTKIMUSONGELMAN MÄÄRITTELY JA RAJAUS	8
2.1	TUTKIMUSONGELMA JA TUTKIMUSKYSYMYS.....	8
2.2	TUTKIMUKSEN RAJAUS.....	9
3	OLETUKSET JA TUTKIMUSMENETELMÄT	12
3.1	OMA HYPOTEESI JA ESIOLETUKSET.....	12
3.2	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	13
4	KIRJALLISUUSTUTKIMUS	15
4.1	KULTTUURIPERINNÖN DOKUMENTOINNIN JA DIGITOINNIN LUONTEESTA.....	15
4.2	KULTTUURIPERINNÖN DOKUMENTOINTI KOLMI- JA NELIULOTTEISESTI.....	18
4.3	KULTTUURIPERINNÖN DIGITOINNIN PROSESSIT.....	18
4.4	YLEINEN KUVAUS KOHTEEN TIEDONKERUUSTA JA KÄSITTELYSTÄ.....	20
4.5	KULTTUURIPERINNÖN KOLMIULOTTEISEN DIGITOINNIN PROSESSI.....	21
4.6	KOHDETYYPIN VAIKUTUS TYÖTAPOJEN JA LAITTEIDEN VALINTAAN.....	22
4.7	KOHTEIDEN TYYPIT JA LUOKITTELU.....	23
4.8	KOLMIULOTTEISEN DATAN KÄYTTÖKOHTEET.....	23
4.9	KOLMIULOTTEISEN DATAN KERÄYS- JA MITTAUSTEKNIIKAT.....	24
4.9.1	<i>Empiirinen mittausmenetelmä</i>	25
4.9.2	<i>Fotogrammetriset menetelmät</i>	26
4.9.3	<i>Laserkeilaus</i>	27
4.9.4	<i>Yhdistelmätekniikat</i>	28
5	TAPAUSTUTKIMUKSET	30
5.1	ESIMERKKIKOHTEIDEN VALINTAPERUSTEET.....	30
5.2	YLEISTÄ TIEDONKERUUSTA ESIMERKKIKOHTEISSA.....	30

5.3	YKSITYISKOHTAISUUDEN TASON MÄÄRITTELY TUTKIMUKSEN TAPAUKSISSA	31
5.4	MANNERHEIMIN SALONKIVAUNU	31
5.5	ASTUVANSALMEN KALLIOMAALAUKSET	33
5.6	OLAVINLINNA	34
5.7	PROSESSIN MUUTTUMINEN ERITYYPPISISSÄ KOHTEISSA.....	35
5.8	KUSTANNUKSET PROJEKTEISSA	37
6	TULOKSET	39
6.1	TYÖN TULOKSENA SYNTYNYT PROSESSI	39
6.2	PROSESSIN KULUESSA HUOMIOITAVIA ASIOITA.....	40
6.3	PROSESSIKUVAUS	41
6.3.1	<i>Vaihe 1: Suunnittelu (Kvalitatiivinen vaihe)</i>	<i>43</i>
6.3.2	<i>Vaihe 2: Tiedonkeruu (Kvantitatiivinen vaihe)</i>	<i>46</i>
6.3.3	<i>Vaihe 3: Jatkokäsittely.....</i>	<i>48</i>
6.3.4	<i>Vaihe 4: Arkistointi.....</i>	<i>50</i>
6.3.5	<i>Vaihe 5: Jatkojalostus.....</i>	<i>52</i>
7	POHDINTA JA TULEVAISUUS	53
8	YHTEENVETO	55
LÄHTEET		

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

MAMK	Mikkelin ammattikorkeakoulu
VIVA3	Videon, valokuvan ja kolmiulotteisen digitoinnin kehittämishanke Mikkelin ammattikorkeakoulussa.
CIPA	The International Scientific Committee for Documentation of Cultural Heritage
ICOMOS	International Council On Monuments and Sites
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
OAIS	Open Archival Information System

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Viimeisen vuosisadan aikana tuotettu analoginen ääni- ja kuvamateriaali on parhaillaan katoamassa kiihtyvää vauhtia ja tietojenkäsittelyn kehityksen mahdollistamat uudet tiedon säilytys-, jalostus- ja hakumahdollisuudet ovat luoneet tarpeen digitoida eli muuntaa fyysiset dokumentit sekä ääni- ja kuvatallenteet digitaaliseen, tietokoneen ymmärtämään muotoon sekä säilytettäväksi että joustavaa käyttöä ajatellen. Tämä tarve koskee audiovisuaalisen materiaalin ohella dokumentteja kirjallisen tallentamisen historian alusta aina tämän vuosisadan paperidokumentteihin, ääneen ja kuvatallenteisiin. Työn määrä on valtava, ja lukuisia hankkeita etenkin dokumenttien digitoinnissa on jo toteutettu menestyksekkäästi. 1900-luku on tuonut mukanaan äänen ja kuvan digitoinnin.

Mikkelin ammattikorkeakouluun (MAMK) on syntynyt määrätietoisien kehitystyön tuloksena analogisen materiaalin digitoinnin osaamiskeskittymä, jossa sekä koulutetaan sähköisen arkistoinnin osaajia että kehitetään digitointimenetelmiä monipuolisia analogisia aineistoja kuten dokumentteja mutta erityisesti ääni- ja kuvatallenteita varten. MAMK tarjoaa tätä osaamista myös palveluna yksityishenkilöille, yrityksille ja yhteisöille. Kehitystyön tarkoituksena on ollut tuottaa kokonaisvaltaista ja laadukasta osaamista digitoinnista. Dokumenttien, äänen sekä videon digitoinnin prosessien kehittämisen ohella on nähty tarpeelliseksi seuraavana askeleena kehittää osaamista kolmiulotteisen maailman muuntamiseksi digitaaliseen muotoon ja lopputuloksena syntyvän datan säilyttämiseksi luotettavasti.

MAMK:n hallinnoima Viva3 -hanke keskittyi erityisesti kolmiulotteisten kohteiden ja liikkuvan kuvan digitointiin ja arkistointiin. Hankkeen yhteydessä oli tarkoitus selvittää miten asioita tällä hetkellä tehdään ja tutkia miten digitointi voidaan toteuttaa siten että aineistojen käytettävyys ja luettavuus säilyy pitkälle tulevaisuuteen. Kolmiulotteisen digitoinnin osalta hankkeessa kehitettiin ja tutkittiin prosesseja sekä välineitä kulttuurihistoriallisten esineiden, rakennusten ja maisemakohteiden digitointiin, arkistointiin ja hyödyntämiseen. Aineiston hyödyntämisessä pohditaan myös monipuolista

käyttöä. Tämä diplomityö sai alkunsa hankkeen tarpeesta tutkia kolmiulotteisen tiedonkeruun prosesseja ja niiden kustannuksia. Osana hanketta työssä pohdittiin sitä miten tarvittava digitointi voidaan hoitaa siten että tilaajilla, jotka usein ovat kulttuurihistoriallista perintöä vaalivia tahoja tiukalla rahoituksella, olisi todellinen mahdollisuus tehdä laaja-alaista dokumentointia myös kolmiulotteisen digitoinnin keinoin. On tarpeen selvittää, millaisella prosessilla kulttuuriperintökohteen digitointi tulee tehdä kun tavoitteena on kustannustehokas digitointi.

Edullisen kolmiulotteisen digitoinnin palvelutarpeeseen pyrittiin vastaamaan luomalla kolmiulotteisen digitoinnin prosessimalli, jonka avulla kohteet voidaan luokitella ja käsitellä sopivin työkaluin ja menetelmin siten että kustannukset pysyvät kohtuullisella tasolla, lopputulos on käytettävissä monipuolisesti ja säilytettävissä mahdollisimman muuttumattomana pitkälle tulevaisuuteen niillä digitaalisilla arkistointimenetelmillä joita Mikkelin ammattikorkeakoulun käytössä jo on. Tulevaisuudessa tarkoituksena olisi tarjota suoraan palvelupaketteja kolmiulotteisen digitoinnin alueella riippumatta kohteen luonteesta. Tässä työssä pyrittiin luomaan malli, joilla kolmiulotteisen digitoinnin palveluita voidaan asiakkaille tarjota.

1.2 Työn tavoitteet

Työn tarkoitus on löytää mahdollisimman edullisia keinoja kulttuuriperinnön taltioimiseksi kolmiulotteisen mallintamisen ja tiedonkeruun keinoin. Työ rajataan koskemaan tutkimuksen yhteydessä tehtyjä kokeiluja määritellyissä tapauksissa siten, että valittuihin kohteisiin etsitään mahdollisimman hyvin tutkimuskysymykseen vastaavat teknologiat ja työskentelytavat.

Osa ongelmaa on tallennetun datan tarkkuuden ja käyttötarkoituksen yhteys. Käyttötarkoitus (kulttuurihistoriallinen tutkimus, kuntoarviointi, restaurointi, esittely tai viihdekäyttö) määrittelee kuinka yksityiskohtainen mallin tulisi olla ja täten sen millaista laitteistoa ja työtapaa tallentamisessa tarvitsee käyttää. Koska lopullinen käyttötarkoitus käytännössä määrittelee tarvittavan tarkkuuden ja tarkkuuden kasvaessa tarvittava laitteisto

on kalliimpaa ja työtunteja vaaditaan enemmän, tutkimusta rajataan tarvittaessa määrittelemällä oletettu käyttötarkoitus sen mukaan, millainen lopputulos on tutkimuksen tapauksissa ollut. Työssä siis määritellään tapoja joilla tämänkaltaiseen lopputulokseen on mahdollista päästä mahdollisimman kustannustehokkaasti niissä kohteissa, joita tapauksissa on ollut mukana.

Käyttötarkoitus määritellään tässä työssä projektin kohdetapausten yhteistyökumppaneiden toivomusten ja tapausten perusteella. Tapauksissa mahdollisia käyttötarkoituksia on pohdittu VIVA3-projektiryhmän sisällä sekä yhteistyökumppaneiden kanssa ennakkoon, ja näistä pohdinnoista jalostuneita käyttötarkoituksia käytetään tässä määrittelyssä. Tämän pohdinnan lopputuloksena muodostetaan perusteltu käsitys tarkkuusrajoista, jotka tämän tutkimuksen puitteissa muodostavat järkevän kompromissin kustannusten ja tarkkuuden suhteen. Tämän mallinnustarkkuuden saavuttamiseksi ehdotetaan tutkimuksen lopputuloksena sopivia prosesseja vastauksena tutkimuskysymykseen.

Pääasiallisina tutkimuskohteina menetelmien suhteen ovat Mikkeliissä sijaitseva marsalkka Mannerheimin salonkivaunu, Savonlinnan Olavinlinna sekä Ristiinan Astuvansalmen kalliomuodostelma. Tämän lisäksi kohteina on pienempiä kokonaisuuksia, joissa kokeiluja tehdään digitointimenetelmien yksittäisiltä osa-alueilta. Kohteille on tarkoitus kehittää joustava tiedonkeruuprosessi, jota voidaan kohdetyypin mukaan varioida.

1.3 Työn rakenne

Luvussa kaksi määritellään tutkimusongelma ja rajataan työ. Kolmannessa luvussa esitetään tutkimuksen tekijän omat oletukset ennen kirjallisuuskatsausta sekä arvioidaan millaisia tuloksia tutkimuksesta voisi mahdollisesti syntyä. Tässä luvussa esitellään myös tutkimusmenetelmät ja pohditaan esimerkkitapausten kannalta sitä, mitä tietoja kohteista halutaan prosessin kannalta kerätä ja mitä kohteissa tehtiin.

Neljännessä luvussa käsitellään työssä tehtyä kirjallisuustutkimusta. Aluksi käydään läpi tutkimukseen liittyvän kolmiulotteisen digitoinnin ongelmakenttää yleisesti tutkimustiedon

ja kirjallisuuden avulla. Luvussa käydään läpi kulttuuriperintökohteiden kolmiulotteisen digitoinnin tarvetta, motiiveja ja käyttöä muualla maailmassa. Tämän lisäksi käsitellään yleisellä tasolla ratkaisuja ja tiedonkeruumenetelmiä joita ongelman ratkaisemiseksi on jo kehitetty. Luvussa paneudutaan yleistasoiseiin ja prosessin osa-alueista jo tehtyihin tutkimuksiin. Luvussa kerrotaan työssä tehdystä kirjallisuustutkimuksesta, jonka tarkoituksena on antaa teoreettinen pohja lopputuloksena syntyvälle prosessimallille. Viidennessä luvussa paneudutaan tutkimuksen esimerkkikohteiden avulla toteutettuihin käytännön testeihin ja niistä saatuihin kokemuksiin.

Kuudennessa luvussa koostetaan kirjallisuustutkimuksen ja tapauksissa saatujen käytännön kokemusten tulokset ja muodostetaan niiden avulla prosessille malli. Luvussa seitsemän pohditaan tutkimustulosten soveltamista sekä tulevaa käyttöä. Tämän lisäksi arvioidaan jatkokehitys- ja jatkotutkimustarpeita. Kahdeksas luku kokoaa yhteenvedon koko tutkimuksesta.

2 TUTKIMUSONGELMAN MÄÄRITTELY JA RAJAUS

2.1 Tutkimusongelma ja tutkimuskysymys

On olemassa tarve taltioida kulttuuriperintöä valokuvien lisäksi kolmiulotteisesti. Kolmiulotteinen malli lisäisi tutkijoiden mahdollisuuksia tutustua sekä olemassa oleviin että jo kadonneisiin kohteisiin uudella tavalla. Kohteiden tutkiminen olisi jollakin tapaa mahdollista esimerkiksi tietoverkon välityksellä, kun käsiteltävänä olisi riittävän tarkka digitaalinen esitys kohteesta. Tarkoitus on pyrkiä samankaltaiseen tutkimukseen kuin kaksiulotteisten dokumenttien kohdalla on jo mahdollista: digitoidut historialliset dokumentit ovat etenkin tiedeyhteisön saatavilla vapaasti tutkimuskäyttöön ja osin myös tavalliselle yleisölle. Kohteesta voi kolmiulotteisena saada huomattavasti paremman käsityksen kuin valokuvista tai piirustusten perusteella.

Rahoitus on usein kuitenkin ongelmallista ja kolmiulotteiseen digitointiin on yleensä olemassa tarkoin määritelty tapauskohtainen tarve. Esimerkiksi ennakoivaa tai luettelointia varten tehtävää digitointia ei tästä syystä kolmiulotteisille kohteille ole juuri tehty. Tästä johtuen erityisesti kustannustehokkaalle digitoinnille on tarvetta. Tämä tarkoittaa kustannusten suhteen että laitteiden on oltava edullisia ja työn tulee valmistua kunkin kohteen ja projektin kannalta järkevässä ajassa.

Kolmiulotteisten mallien tuottamiseen kulttuuriperintökohteista liittyy useita ongelmia, joita tässä työssä pyritään mahdollisimman kustannustehokkaasti ratkaisemaan siten, että ne soveltuvat Mikkelin ammattikorkeakoulun toimintaan. Ratkaistavia kysymyksiä ovat millaisia tiedonkeruutapoja kussakin kohteessa tulisi käyttää ja onko olemassa yhtenäistä tapaa kerätä tietoa kohteen tyypistä riippumatta, millaisella tarkkuudella kohde tulisi digitoida maksimaalisen hyödyn saavuttamiseksi ja millaisessa muodossa data tulisi säilyttää.

Tarkkuusongelman ratkaisemiseksi on löydettävä hyvä keskitie, jolloin datan määrä ei kasva liian suureksi tiedon keruuta ja säilytystä ajatellen mutta on kuitenkin riittävän tarkkaa tutkimus- ja restaurointikäyttöä ajatellen.

Arkistoinnin suhteen ongelmana on myös se, mitä dataa kohteesta oikeastaan tulisi säilyttää mahdollisimman monipuolisen käytön mahdollistamiseksi, ja tehdäänkö kohteesta useita digitoiteja aikatasot huomioon ottaen. Optimaalinen tilanne olisi sellainen, jossa käytettävissä olisi yksi arkistodata, josta käyttötarkoitukseen sopiva data olisi johdettavissa. Tällöin käytettäisiin arkistoinnissa digitoitua originaalia, niin sanottua digital masteria eikä muita iteraatioita olisi välttämätöntä tallentaa. Käytettävissä olevan budjetin puitteissa on usein kuitenkin tyydyttävä jonkinlaiseen kompromissiin.

Tutkimuskysymykseksi johon tässä työssä pyritään vastaamaan asetettiin ”Millaisella prosessilla kulttuuriperintökohteen digitointi tulee tehdä kun tavoitteena on kustannustehokas digitointi?”. Käytännössä laajemmin avattuna tämä tarkoittaa vastauksen etsimistä siihen, miten kulttuurihistoriallisesti arvokas kohde kuten esine, rakennus tai maisemakohde tulisi taltioida jotta siitä saadaan aikaan kolmiulotteinen esitys. Tutkimuskysymykseen haettiin tässä työssä vastausta esimerkkitapausten ja kirjallisuuden sekä jo olemassa olevan tutkimustiedon avulla.

2.2 Tutkimuksen rajaus

Tutkimuksen aikana kävi ilmi että asetetun tutkimuskysymyksen kannalta tiedonkeruuseen vaikuttaa käytännössä kolme tekijää. Nämä tekijät ovat digitoitavan kohteen tyyppi, datan lopullinen käyttötarkoitus ja prosessin kustannustaso. Tutkimus rajataan näiden tekijöiden perusteella. Seuraavassa esitetään miksi ja miten tällainen päätelmä tehtiin.

Kohdetyypillä tarkoitetaan digitoitavan kohteen luonnetta, eli millainen kohde on fyysiseltä kooltaan ja kuinka matemaattisesti monimutkainen sen muoto ja pinta on. Nämä ominaisuudet eivät korreloi, joten sekä pienet että suuret kohteet voivat olla muodoltaan ja pinnoiltaan yksinkertaisia tai monimutkaisia. Kohdetyyppi määrittelee vahvasti työtapoja ja käytettävää laitteistoa. Luvussa viisi perustellaan miksi näin on. Kohdetyyppien osalta resurssisyistä tutkimus rajataan koskemaan niitä kohdetyyppejä, joita esimerkkitapauksissa on käsitelty. Esimerkkitaupaukset on pyritty kuitenkin valitsemaan mahdollisimman

kattavasti, jotta käsittely on riittävän monipuolinen tutkimuksen kannalta ja tutkimuskysymykseen pystytään vastaamaan.

Tutkimuksen alussa tarkoitus oli löytää prosessi, jolla yleisellä tasolla voidaan tuottaa arkistointia varten sellainen malli ja yleistasoinen lähtömateriaali, jota voitaisiin käyttää mahdollisimman monipuolisesti. Kolmiulotteisen tiedon luonteen vuoksi tutkimuskysymykseen vastaaminen kaikenkattavasti on kuitenkin äärimmäisen hankala tehtävä. Jotta tiedonkeruuprosessi voidaan luoda, on tiedettävä kuinka yksityiskohtainen tieto kohteesta halutaan kerätä. Tätä varten prosessiin on sisällytettävä osuus, jossa kohdetta analysoidaan ja yksityiskohtaisuuden taso jollakin tavalla määritellään.

Analogisen maailman kolmiulotteista kohdetta digitoitaessa tilanne voidaan kuvitella vastaavaksi kuin esimerkiksi äänen digitoinnissa: aina paremman teknologian avulla voidaan ottaa näytteitä analogisesta kohteesta yhä enemmän ja enemmän kun näyteenottotaajuutta kasvatetaan. Kuten äänen digitoinnissa, kolmiulotteisen kohteen digitoinnissakin törmätään kuitenkin jossakin vaiheessa tilanteeseen, jossa näyteenottotaajuuden eli resoluution kasvattaminen ei ole enää tarkoituksenmukaista vaikka se olisikin teknisesti mahdollista. Äänen tapauksessa ihmiskorva ei tietyn tason jälkeen enää erota alkuperäistä analogista ja digitoitua ääntä toisistaan. Kolmiulotteisen kohteen tapauksessa jossakin vaiheessa ihmissilmä ei erota alkuperäistä digitaalisesta kun se esitetään kuvallisesti. Aivan verrannollinen tilanne ei kuitenkaan ole, sillä kohteen tietoa saatetaan tarvita esimerkiksi rakenteellisessa arvioinnissa lähempää tarkasteltuna. Tällöin käyttötarkoitus on muuttunut ja visuaalinen realismi ei riitä. Tarvitaan suurempi näyteenottotaajuus eli resoluutio jotta esimerkiksi pinnan muotoja ja materiaaleja voidaan erottaa tarkasti.

Esimerkiksi dokumentaatio- ja arkistointitarkoituksissa tehtävässä tiedonkeruuprojektissa voisi ajatella että on hyödyllistä kerätä tietoa tarkimmalla mahdollisella resoluutiolla. Budjetti on kuitenkin aina rajallinen. Nykyinen käytössä oleva laitetekniikka mahdollistaa sekä suurpiirteisen että hyvinkin yksityiskohtaisen tiedonkeruun, mutta tarkempaan resoluutioon kykenevät laitteet ja työskentelytavat nostavat kustannuksia huomattavasti. Täten tehtävä on pakko rajata kiinnittämällä joko käyttötarkoitus tai kustannukset jollakin

tapaa. Käyttötarkoitus määrittelee suoraan kuinka yksityiskohtaista tietoa kohteesta tarvitaan. Kustannukset taas määrittelevät käytettävän laitteiston ja työajan kautta kuinka yksityiskohtaisesti kohteen tiedot on mahdollista kerätä. Lopputuloksena voidaan päätellä, että tutkimuskysymykseen voidaan vastata tavoitteiden kannalta järkevästi vain, jos määritellään yksityiskohtaisuuden taso joko lopullisen käyttötarkoitusten tai kustannusten kautta.

Tässä työssä yksityiskohtaisuus päätettiin määritellä loppukäytön kautta, sillä potentiaalisten asiakkaiden käytössä olevia resursseja on hankala arvioida ennalta. Tutkimuksen rajaavana tekijänä tullaan käyttämään esimerkkikohteista syntyneiden mallien yksityiskohtaisuustasoa, joiden loppukäyttö määriteltiin erikseen VIVA3-projektien tapauksissa loppukäytön mukaan. Nämä kohteet toimivat tässä työssä esimerkkeinä erilaisista kohdetyypeistä.

3 OLETUKSET JA TUTKIMUSMENETELMÄT

3.1 Oma hypoteesi ja esioletukset

Työn tekijän oma hypoteesi ennen tutkimusta perustuen omiin ennakkotietoihin on, että yhtä yleispätevää tapaa ratkaista tutkimuksen ongelma ei olisi ainakaan toistaiseksi olemassa. Kohteiden moninaisuus ja monipuolisuus aiheuttavat sen, että nykYTEKNOLOGIA ei esimerkiksi tiedon keräämisen osalta tarjoa välineitä, joilla laaja kokoskaala saataisiin riittäväällä tarkkuudella taltioitua. Ratkaisuja ongelmaan oletetaan kuitenkin löytyvän, mutta prosessin rakentamiseksi niitä on koottava yhteen useita. Täten tutkimuksen tuloksena syntyy ehdotuksia erilaisista toimintamalleista kohdetyypistä riippuen. Tutkimuksen tavoitteena voikin pitää kohdeluokittelun ja karkeiden toimintamallien synnyttämisen, joiden avulla on hyvä esittää kuinka malli mahdollisesti tullaan tekemään sekä esittää suoraan kustannus- ja aika-arvioita tallennettavan kohteen osalta.

Oletusten perusteella tutkimuksen prosessi jaetaan kolmeen osa-alueeseen, jotka ovat

1. tiedon kerääminen,
2. tiedon käsittely, muokkaus ja arkistointi sekä
3. jatkokäsittely arkistoinnin jälkeen.

Nämä vaiheet pyritään muodostamaan riippumattomiksi toisistaan siten, että arkistoinnin tapaa ei tarvitsisi muuttaa sen perusteella, mistä kolmiulotteinen data on peräisin tai mihin sitä mahdollisesti tullaan käyttämään. Yksi tämän tutkimuksen perusajatuksia on nimenomaan se, että arkistoidun datan käyttökohdetta tietoa myöhemmin tarvittaessa ei arkistointivaiheessa pystytä määrittelemään. Esiolettamuksena on, että mallin käyttötarkoitus sanelee vahvasti tiedonkeruun tapaa ja prosessia, josta lopputuloksena seuraisi, ettei yleispätevän ja universaalien virtuaalisen arkistokappaleen luominen kolmiulotteisesta esineestä olisi täysin mahdollista.

Tutkimuksen lopputuloksena oletetaan syntyvän prosessi, jossa ensin kohteen tyypittämisen jälkeen valitaan työtavat, joita kohteeseen sovelletaan, tämän jälkeen

käsitellään data arkistoitavaksi tai vaihtoehtoisesti suunniteltuun käyttötarkoitukseen ja arkistoidaan data jollakin tutkimuksen lopputuloksena löytyneellä tavalla. Tässä prosessissa on huomioitava työtapojen edullisuus, eli työtavat eivät saa vaatia kohtuuttoman kallista laitteistoa tai suuria määriä työaikaa. Oletusarvoisesti tällainen prosessi olisi kyllä mahdollinen, mutta huomioon on joka tapauksessa otettava jonkinlainen oletettu käyttötarkoitus, jotta yksityiskohtaisuuden tason määrittelemine on mahdollista.

Tiedonkeruun osalta päädyttäneen ratkaisuun, jossa tarjolla on pieni laitevalikoima ja pääosa tiedon tallennuksesta toteutetaan fotogrammetrisen ja panoraamavalokuvauksen avulla. Käsittelymahdollisuuksia luultavasti on enemmän, riippuen siitä, miten laiteohjelmistot rajoittavat datan käsittelyä.

Arkistoinnin suhteen olisi hyvä löytyä arkistointiin soveltuva tiedostomuoto. Jos tällaista ei ole, arkistoinnissa päädyttäneen jonkinlaiseen migraatiosuunnitelmaan nykyisten, siirrettäväksi todettujen tiedostomuotojen avulla.

Mallien hyödyntäminen sanelisi normaalitapauksessa yllä kuvattujen vaiheiden toteutusta, mutta tässä tutkimuksessa on lähdetty siitä olettamuksesta että käyttötarkoitusta ei tiedetä. Voi olla haasteellista luoda arkistoitava kolmiulotteinen malli riittäväällä yksityiskohtaisuuden tasolla, jolla mahdollisimman monipuolinen käyttö onnistuu.

3.2 Tutkimusmenetelmät

Tämän tutkimuksen lopputuloksena pyrittiin luomaan prosessi, jossa pystytään kohdekohtaisesti prosessimallien perusteella valitsemaan sopiva kustannustehokas tapa kerätä kolmiulotteinen data käsillä olevasta kohteesta. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi tehdään sekä kirjallisuustutkimus että käytännön kokeita kolmessa kohteessa tutkimukseen saatavilla olevien menetelmien testaamiseksi käytännössä. Kirjallisuustutkimusta varten kerätään olemassa olevia tutkimuksia sekä kirjallisuustietoa tiedonkeruumenetelmistä, olemassa olevista käytännöistä ja jo toteutetuista hankkeista. Empiiristä osuutta varten on

valmiiksi valikoitunut kolme pääkohdetta joissa tehdään kattavampia mittauksia ja muutamia muita pienempiä kohteita, joissa kokeillaan jotakin tiettyä osa-aluetta.

Tutkimuksen aluksi hypoteesin ja ennakkotietojen perusteella prosessimalli on jaettu kolmeen osa-alueeseen, jotka ovat tiedon kerääminen, tiedon käsittely, muokkaus ja arkistointi sekä jatkokäsittely arkistoinnin jälkeen. Työn tekijän ennako-oletusten ja asiakkaiden kanssa käytyjen keskusteluiden perusteella etsittiin hankkeen kohteisiin sopivia tapoja tiedonkeruuta varten. Tässä vaiheessa tutkittiin raportteja vastaavatyypisten kohteiden digitointiprojekteista ja niissä käytetyistä välineistä. Samalla etsittiin sopivia projektisuunnittelun välineitä, joilla kohteiden tyyppisiä ja niille sopivia laitteistoja sekä työtapoja olisi voinut määrittellä, mutta tällaisia valmiita malleja ei löydetty. Niinpä kohteissa valittiin muutamia sopivia työtapoja joilla työ tehdään, ja varsinainen käytännön tiedonkeruu suoritettiin näillä välineillä. Aineistoa kerättiin kulttuurihistoriallisen tutkimustiedon osalta sillä periaatteella, että tavoitteena olisi jollakin tapaa yleistää digitointiprosessin kulku.

Tutkimuksen lähtökohtana olivat alaan liittyvät julkaisut, artikkelit ja kirjallisuus sekä Viva3:ssa asetetut esimerkkikohteet. Projektiluontoisesti esimerkkikohteista oli synnyttävä jonkinlainen lopputuote ja tämän tavoitteen täyttämiseksi perehdyttiin alan julkaisuihin sekä hankkeisiin, joita jo aiemmin on toteutettu. Tätä tietoa sovellettiin ja peilattiin tutkimuksen esimerkkitapauksissa. Esimerkkitapauksissa kokeiltiin erilaisia tiedonkeruumenetelmiä ja työtapoja teknisestä näkökulmasta sekä pohdittiin yhteistyökumppaneiden kanssa sitä, mikä kohteen kannalta on olennaista digitoida ja millä tarkkuudella.

Julkaisuiden ja kirjallisuuden sekä esimerkkikohteista saatujen kokemusten perusteella tässä työssä kootaan prosessimalli. Prosessimallin avulla vastaavan tyyppisiä digitointiprojekteja voidaan vastaisuudessa toteuttaa ja suunnitella tehokkaammin. Mallin avulla prosessista on helpompi kertoa, sitä on helpompi myydä ja se on selkeämpi esittää asiakkaalle. Mallin vaiheet mahdollistavat myös tehokkaamman yhteistyön asiakkaan kanssa projektin kuluessa.

4 KIRJALLISUUSTUTKIMUS

4.1 Kulttuuriperinnön dokumentoinnin ja digitoinnin luonteesta

Kulttuuriperinnön määritelmä on laaja. Dokumentaation kannalta voidaan ajatella kulttuuriperinnön käsittävän kaikkea mahdollista ihmisen toiminnan tuloksena syntynyttä konkreettista asiaa pienistä esineistä aina monumentteihin, kaupunkikeskustoihin ja kulttuurimaisemiin asti (Patias, 2006). Sen lisäksi, että kohteiden skaala on näin laaja, kohteista on otettava huomioon hyvin paljon yksityiskohtia, jotta dokumentointi on kattavaa. Kohteiden järjestelmällinen ja laajamittainen dokumentointi kolmiulotteisesti vaatisi prosessin, joka on toteutettavissa helposti ilman suurta ylimääräistä vaivaa ja on myös kustannustehokas. Tällaisia prosesseja on jo olemassa esimerkiksi dokumenttien ja kirjojen digitointiin (Coyle, 2006).

Dokumentaation tulisi olla ihanteellisessa tilanteessa täysin kattava, objektiivinen sekä sellainen, ettei tulkinnanvaraa jäisi. Käytännössä tämä on kuitenkin mahdottomuus. Jokaista yksityiskohtaa ei voida koskaan dokumentoida ja jotkin osat on aina pakko jättää dokumentoimatta useista syistä: aikaa tai varoja ei ole riittävästi, dataa ei voida riittävän suurissa määrin varastoida tai käsitellä tai yksityiskohdat ovat yksinkertaisesti hyvin hankalia dokumentoida riittävän tarkasti. Tällöin dokumentaation tarkastelijalle kohde näyttäytyy täsmälleen sellaisena kuin dokumentaatio on tehty eikä sellaisena kuin kohde alkuperäisenä, kaikkine yksityiskohtineen on dokumentointivaiheessa ollut. (D'Ayala, Smars, 2003)

Tästä johtuen digitaalinen dokumentointiprosessi jaetaan usein kahteen vaiheeseen: ensin määritellään erilaisten muuttujien perusteella mikä kohteessa on olennaista ja tulee taltioida, ja jälkimmäisessä vaiheessa tämän perusteella valitaan tekniikat ja työtavat joilla edetään itse dokumentointiin. (Boehler, Heinz 1999)

Perustavanlaatuisen ongelman on yksityiskohtaisuuden määrittely digitoimista varten kun lopullinen käyttötarkoitus on nimenomaan dokumentointiluontoinen digitointi, jonka lopputuotteita tulisi voida käyttää mahdollisimman monipuolisesti. On tehtävä

kohdekohtainen priorisointi kulttuurihistoriallisin perustein, sillä kaikkea ei ole mahdollista digitoida. Kolmiulotteisista objekteista puhuttaessa ei riitä, että kohteen geometria taltioidaan, kaikki kohteen yksilölliseksi tekevät asiat ovat tärkeitä. Näitä asioita geometrian lisäksi ovat arkkitehtoniset, taiteelliset, historialliset, tieteelliset ja sosiaaliset muuttujat, jotka kohteeseen vaikuttavat ja määrittelevät sitä, mikä on dokumentoinnin arvoista. (D’Ayala, Smars, 2003)

Tämän määrittelyn yhtenäistämiseksi ja helpottamiseksi on pyritty kansainväliseen yhteistyöhön perustamalla kulttuuriperinnön dokumentointia kehittämään The International Scientific Committee for Documentation of Cultural Heritage (CIPA) joka on osa International Council On Monuments and Sites (ICOMOS) –järjestöä. Nämä tahot tekevät yhteistyötä UNESCO:n (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) kanssa tuottaen suosituksia siitä miten kulttuuriperintökohteiden dokumentointia tulisi tehdä. Tämän kansainvälisen yhteistyön tuloksena syntyneissä ohjeistuksissa ja määrittelyissä esiintyvät yleisesti seuraavat asiat, jotka kulttuuriperintöä dokumentoitaessa ovat olennaisia seikkoja ja tulisi aina ottaa huomioon (Patias, 2006):

- Taltioitavaa dataa on paljon. Kohteiden olennaista dataa on olemassa neliulotteisesti (kolme geometrista ulottuvuutta ja aika), data on moninaisissa muodoissa ja erilaisilla yksityiskohtaisuuden tasoilla.
- Dokumentointityön loppukäyttönä on usein ainakin digitaalinen tietokanta kolmiulotteisena sekä kuvina.
- Neliulotteisen tiedon hallinta on järjestettävä mahdollisimman järkevästi ja turvallisesti sekä siten että tieto on jaettavissa helposti.
- Dokumentaation lopputulokset on kyettävä esittämään ja visualisoimaan käyttäjystävällisesti siten että mahdollisimman suurella määrällä käyttäjiä on mahdollista päästä käsiksi aineistoon helposti, nopeasti ja informatiivisesti.

On pohdittava millaisia kohteita on tarpeen digitoida ja miksi. Kulttuuriperintökohteiden tapauksessa on tarve säilyttää, restauroida ja tutkia maisemakohteita kuten esimerkiksi kulttuurillisesti merkittävät tapahtumapaikat niihin liittyvine maamerkkeineen. Pienempiä kohteita voivat olla hautapaikat, rakennelmat ja rakennukset aina esineistöön asti.

Kolmiulotteinen mallintaminen, digitointi ja käsittely voi tuoda sekä säilytykseen, esittämiseen että kulttuuriperinnön tutkimukseen paljon uusia ulottuvuuksia, kun malleja voidaan tutkia uusilla tavoilla siten, että varsinaisen kohteen vaurioitumisesta tai kulumisesta ei tarvitse kantaa huolta. Tämänkaltaisen tutkimustyö voi jossain määrin vähentää myös kustannuksia, kun tutkimuskohde on saavutettavissa digitaalisesti.

Järjestelmällistä kulttuuriperintökohteiden dokumentaatiota tehdään esimerkiksi rakennusten tapauksessa seuraavista syistä (D’Ayala, Smars, 2003):

- Konservointityöt
- Kohteen tilan tarkkailu
- Kulttuurihistoriallisen merkityksen arviointi
- Rakenteellisen kunnan arviointi
- Arkistointi
- Julkaisut
- Tutkimuskäyttö

Samantapaiseen listaan on päätyneet muitakin tutkimusryhmiä myös CIPA:ssa (Boehler, Heinz, 1999). Digitaaliset arkistot kolmiulotteisista malleista, korkealaatuiset fyysiset kopiot, kohteiden saatavuus ja digitaalinen restaurointi listataan, kun pohditaan miksi kulttuuriperintöä digitoidaan kolmiulotteisesti (Pieraccini et al., 2001). Kun digitoitava kohde on selvillä, näitä syitä on hyvä käyttää lähtökohtana digitoinnin suunnittelussa.

Yllä mainittujen D’Ayalan ja Smarsin (2003), Boehlerin ja Heinzin (1999) ja Pieraccinin et al. (2001) motivaatiotekijöiden avulla voidaan pohtia, mikä itse asiassa on dokumentoinnin kannalta oleellista tietoa. Tämä on erittäin tärkeää, sillä dokumentoinnin yksityiskohtaisuuden määrittely tarkoituksenmukaisesti on ensiarvoisen tärkeää kustannusten kannalta. Ongelmaksi muodostuu siten se että on pakko tehdä jonkinlainen valinta sen suhteen mitä taltioidaan eli käytännössä miten yksityiskohtainen dokumentaatiosta tulee, ovatko jotkin osat yksityiskohtaisempia kuin toiset ja jätetäänkö jotkin osat dokumentoimatta kokonaan.

4.2 Kulttuuriperinnön dokumentointi kolmi- ja neliulotteisesti

Kolmiulotteiset mallit ovat tietokoneella käsiteltäviä matemaattisia esityksiä, joita ei voi arkistoida tulostamalla, muulla tavoin kaksiulotteisesti kuvien tapaan tai videoimalla niitä. Ne on usein luotu erilaisilla erikoistuneisiin tarkoituksiin luoduilla ohjelmistoilla ja sellaisiin tiedostoformaatteihin jotka eivät ole yhteensopivia keskenään. Kolmiulotteisen tietokonegrafiikan historia on laajamittaisessa käytössä lyhyt, vaikka ensimmäiset sovellukset ovatkin peräisin 1960-luvulta. Laajamittaista käyttöä on alkanut ilmetä vasta kun tietokoneiden laskentateho on riittänyt kolmiulotteisten mallien reaaliaikaiseen laskentaan ja käsittelyyn (Puhakka, 2008). Neliulotteisuudella viitataan tässä työssä kolmeen geometriseen ulottuvuuteen ja aikatasoon.

Neliulotteisuus mahdollistaa sen, että dokumentoitavasta kohteesta voidaan taltioda nykytilan lisäksi muitakin hetkiä kohteen historiasta. Tämä voidaan toteuttaa joko arvioimalla aiemman tiedon perusteella esineen historia ja luomalla mallinnuksia kohteen historiasta nykyhetkestä taaksepäin tai suunnittelemalla kohteen dokumentointi tulevaisuuteen toteutettavaksi tietyin väliajoin.

4.3 Kulttuuriperinnön digitoinnin prosessit

Kulttuuriperinnön dokumentaation prosesseista on tehty tutkimusta CIPA:n taholla ja erityisessä voittoa tavoittelemattomassa CyARK -projektissa, jossa on suunniteltu sekä prosesseja että kohteiden massadigitointia.

CIPAn foorumeissa on syntynyt esimerkiksi ehdotus digitoinnin ja dokumentaation tuottamisen päätöksentekoprosessista. Boehler ja Heinz ehdottavat (1999) että päätöksentekoprosessi olisi seuraavan listan mukainen:

1. vaihe: päätetään mitä tutkitaan ja dokumentoidaan
2. vaihe: päätetään millaista julkaisutapaa ja informaatiojärjestelmää käytetään
3. vaihe: selvitetään millaisia tiedonkeruumenetelmiä on käytettävä
4. vaihe: selvitetään miten halutunlainen tiedonkeruu voidaan suorittaa

He painottavat myös, että julkaisutapa (josta tässä työssä on käytetty termiä loppukäyttö) on päätettävä mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, mieluiten vaiheen 1 yhteydessä tai vähintään heti sen jälkeen, jotta ylimääräiseltä työltä ja kustannuksilta myöhemmin vältyttäisiin (Boehler, Heinz 1999).

Edellä mainituissa vaiheissa tulisi Boehlerin ja Heinzin (1999) mukaan hyödyntää vaiheittain eri alojen asiantuntemusta. Dokumentaatioprojektiin vetäjällä tulisi olla monipuolinen kokemus kulttuurihistorian alueelta, mutta myös perustietämys tiedonkeruun aihealueilta, jotta hän voi työskennellä asiantuntijaryhmien kanssa joustavasti. Heidän (Boehler, Heinz, 1999) mukaansa projektit ovat kohteiden monipuolisuuden vuoksi aina erilaisia ja täten he ehdottavat koottavaksi seuraavan listan mukaisia asiantuntijaryhmiä kunkin vaiheen päätöksiä tekeväksi elimeksi:

1. vaiheen työryhmä: Projektiin osallistuvat tieteenalat, kuten mittaus, geologia, kemia ja muut mahdollisesti kohdetyypistä riippuen
2. vaiheen työryhmä: Julkaisutapojen asiantuntijat ja paikkatietoasiantuntijat
3. vaiheen työryhmä: Tiedonkeruuasiantuntijat (Fotogrammetria, keilaus, paikkatieto)
4. vaiheen työryhmä: Fotogrammetrian asiantuntijat

Kokonaisvaltaista kulttuuriperintökohteiden digitointia edistetään ja toteutetaan maailmanlaajuisen, voittoa tavoittelemattoman CyARK –organisaation taholla. CyARK:n tavoitteena on taltioidan kulttuuriperintöä monipuolisesti ja laaja-alaisesti tuleville sukupolville. CyARK:n puitteissa katetaan koko prosessi kohteen etsinnästä kohteen arvioinnin ja eri menetelmillä digitoinnin kautta jälkikäsitteilyyn ja arkistointiin sekä kohteiden digitaaliseen esittämiseen. CyARK:n kumppaneita ovat skannauspalveluiden tarjoajat, yliopistot, ohjelmistoyritykset, kulttuuriperintöä vaalivat tahot, säätiöt ja muut tekniikkaan sekä tekniikan että historian ja kulttuurin tutkimukseen liittyvät tahot.

4.4 Yleinen kuvaus kohteen tiedonkeruusta ja käsittelystä

Kun kohde ja digitoinnin yksityiskohtaisuuden taso on selvillä, prosessi alkaa tiedon keräämisestä. Riippumatta kohteen koosta kerätään tietoa kohteen geometriasta ja pinnan väristä sekä heijastavuudesta. Joissakin tapauksissa myös kohteen ympäristö ja ympäristöstä tuleva valo on olennaista jossakin määrin taltioida. Tällaisia kohteita voivat olla esimerkiksi maisemakohteet, joissa ympäröivä alue on olennainen osa tutkimusta itse pääkohteen lisäksi. Näissä kohteissa myös valo ja heijastukset voivat olla sidonnaisia ympäristöön. Tämä koskee myös rakennuksia, mikäli rakennus halutaan tarkasti mallintaa sellaisena kuin se alkuperäisessä ympäristössään näyttäytyy tai on näyttäytynyt. Käytettävän mittauslaitteiston sanelee osaltaan kohteen tyyppi, mutta vaadittava mittaustarkkuus loppukäytön kannalta on merkitsevä tekijä. Kustannukset ovat suorassa suhteessa tarkkuuteen, koska tarkempaan skannaukseen pystyvät laitteet ovat kalliimpia ja yksityiskohtaisempi tiedonkeruu kaikilla menetelmillä tarkoittaa suurempaa määrää työtunteja. Loppukäyttö on joka tapauksessa jollakin tavalla määriteltävä, jotta kustannuksia voidaan arvioida.

Kerätty mittatieto kerätään mittauksen jälkeen laitteista ja usein käsitellään laitekohtaisilla ohjelmistoilla sellaiseen muotoon, että sitä voidaan jatkokäsitellä. Jatkossa tässä työssä tätä dataa tullaan kutsumaan lähtödataksi. On olennaista huomioida, että mittatieto voi olla peräisin monentyyppisistä laitteista valitun tiedonkeruutavan mukaan. Lähtötieto voi olla fyysisiä mittoja, valokuvia, pistepilviaineistoa, heijastusmittauksista saatavaa dataa tai laserkeilausvälineillä kerättyä tietoa (Addison et al, 2000). Tässä käsittelyn vaiheessa esimerkiksi pistepilviuotoinen lähtödata karsitaan ja siivotaan mittauksen yhteydessä syntyneestä ”roskadatasta” kuitenkin hävittämättä olennaista tietoa. Tämä tieto sijoitetaan jonkin kolmiulotteista dataa käsittelevän ohjelmiston koordinaatistoon joko sellaisenaan tai huomioiden mahdollisesti datan mukana kerätty paikkatietoaineisto. Ohjelmisto voi olla joko laitekohtainen tai yleisesti kerätyn tyyppisen datan käsittelyyn tarkoitettu ohjelmisto, kuten pistepilvien käsittelyohjelmisto (Weyrich et al., 2004).

Kappaleesta voidaan kerätä pintamateriaalin tietoja mittaamalla heijastus- ja väriarvoja. Näiden tietojen perusteella muodostetaan väri- ja heijastuskartat. Tarkkuuden kannalta on

tärkeää sijoittaa nämä kartat mallin pinnalle oikein. Tästä syystä tarkkaan lopputulokseen pyrittäessä mittauksen yhteydessä on pyrittävä tallentamaan jonkinlainen viitetieto siitä, miten heijastus- ja värikartat sijoitetaan mallin pinnalle. Monet pistepilviaineistoa tuottavat laitteet osaavat ottaa myös referenssikuvia, joihin sisältyy tieto niiden sijoituksesta pistepilviaineistossa. Näiden referenssien perusteella tarkemman kuva- ja mittausdatan sijoittaminen tarkasti mallin pinnalle on mahdollista (Chen et al, 2002).

4.5 Kulttuuriperinnön kolmiulotteisen digitoinnin prosessi

D’Ayala ja Smars tuovat artikkelissaan (2003) esille digitointiprojektin suunnitteluun liittyviä ongelmia: Jos jotakin jätetään dokumentoimatta, se voidaan tulkita huomaamatta vähemmän tärkeäksi yksityiskohdaksi tai voidaan kokonaan tulkita puuttuvaksi. He ehdottavatkin kaksivaiheista työtappaa, joka muodostuu kvalitatiivisesta ja kvantitatiivisesta tiedonkeruuvaiheesta.

Kvalitatiivisessa mallinnusvaiheessa luodaan karkea runkomalli, jossa muodostetaan eräänlainen käsitekartta kohteesta, jolla ilmennetään kohteen yleinen luonne ja historian sekä senhetkisen käsityksen kannalta olennaiset asiat ja kohteet. Käsitekartan avulla kohde jaetaan tarvittaessa pienempiin osakokonaisuuksiin. Karttaan merkitään prioriteetti ja mitattavat suureet, jotka kvalitatiivisessa vaiheessa mitataan. Kvalitatiivisessa vaiheessa päätetään tarkkuuden ohella mittaustekniikat. On määriteltävä kohdekohtaisesti millä kriteereillä (kulttuurihistoriallinen arvo, arkkitehtoninen arvo jne.) käsitekartan osat ja kokonaisuus priorisoidaan. Tässä vaiheessa tehdään tarkat suunnitelmat mittauksista ja kerättävästä tiedosta.

D’Ayalan ja Smarsin (2003) kuvaaman mallin kvantitatiivisessa vaiheessa pyritään kvalitatiivisessa vaiheessa luotujen suunnitelmien perusteella keräämään tavoiteltu tieto mahdollisimman laadukkaasti ja eheänä.

Kulttuuriperintöä dokumentoitaessa on siis tärkeätä määritellä, mikä on tärkeää, koska dokumentoitavaa informaatiota on paljon ja monenlaisessa muodossa etenkin silloin, kun

halutaan taltioida kohde mahdollisimman autenttisesti. Kolmiulotteisen mallintamisen ja dokumentoinnin kohdalla tämä korostuu, sillä tallennettavan tiedon määrä on valtava, jos yksityiskohtaisuudesta ei tingitä. On esitettävä kysymys siitä miten kohde voidaan esittää myöhemmin siten, että taltioinnista koetaan saatavan riittävä hyöty. D’Ayalan ja Smarsin (2003) esittelemä malli toimii hyvänä pohjana vastattaessa tähän kysymykseen.

4.6 Kohdetyypin vaikutus työtapojen ja laitteiden valintaan

Kohteen tyyppillä tässä työssä tarkoitetaan fyysistä kokoa sekä muodon sekä pinnan matemaattista monimutkaisuutta. Pinnan monimutkaisuudella tarkoitetaan tässä väriä ja mahdollista kuviota sekä heijastuksia, muodolla koko kappaleen ja pinnan muotoa mukaan lukien pienet epätasaisuudet, kuten kulumajäljet ja materiaalin pintatekstuuri. Suurena kohteenä on tässä työssä pidetty sellaisia kohteita kuten kallio tai julkisivu. Pienet kohteet voivat olla näiden yksityiskohtia tai esineistöä. Oman ryhmänsä muodostavat maisemat ja alueet, jotka taas vaativat omanlaistaan mittausteknologiaa.

Laitevalintaa säätelevät kohteen ominaisuuksien lisäksi ulkoiset tekijät kohteen ympärillä. Nämä tekijät johtuvat laitteiden käyttötavoista ja toimintaperiaatteista. Itse kohteen ominaisuuksista laitevalintaan vaikuttavat koon lisäksi pintamateriaalin matemaattinen monimutkaisuus, kuten edellä mainitut värit ja heijastukset sekä pinnan geometria. (Pavlidis et al., 2007)

Ulkoisia laitevalintaan vaikuttavia tekijöitä ovat valaistus ja vaikutusmahdollisuudet valaistukseen, mahdollinen ympäristössä oleva mittauksia häiritsevä säteily, liikkumatila kohteen ympärillä sekä sääolot jos kohde on ulkona. Pienempiä kohteita, kuten esineitä, voi olla mahdollista siirtää ja käsitellä. Tämä on tärkeä ominaisuus pohdittaessa voidaanko käyttää paikallaan pysyvää laitetta vai onko laitteen liikuttava kohteen ympärillä. (Achille et al, 1999)

4.7 Kohteiden tyypit ja luokittelu

Kohteiden systemaattinen luokittelu on monipuolisuuden vuoksi hankala tehtävä. Eräs mahdollinen tapa on luokitella kohteet hierarkkisesti Lagerqvistin (1996) esittämään tapaan seuraavasti:

- Luonnollinen ympäristö, globaali kokonaisuus, johon kuuluvat
- tavalliset maisemat, jotka koostuvat
- kulttuurimaisemista, jotka pitävät sisällään
- rakennetut ympäristöt, jossa sijaitsevat
- kaupungit ja kaupungistuneet ympäristöt, jotka koostuvat
- rakennuksista ja muista rakenteista, jotka antavat viitekehyksen
- esineille.

Tällainen jaottelu ei kuitenkaan sellaisenaan sovellu kohteiden luokitteluun, koska samaan joukkoon kuuluvat kohteet voidaan joutua dokumentoimaan täysin eri tavoin riippuen siitä mikä datan käyttökohde ja valittu yksityiskohtaisuuden taso on (Boehler, Heinz, 1999).

4.8 Kolmiulotteisen datan käyttökohteet

Kolmiulotteisen datan luonti on tarpeen siksi, että näin on edullisesti ja suhteellisen varmasti mahdollista säilyttää rakennusten profiili, ulkomuoto, sisätilat, mitat ja mittasuhteet digitaalisesti riittävällä tarkkuudella sekä oikeassa koordinaatistossa sijaintitietoineen. Esineiden suhteen säilytettävää tietoa ovat ulkomuoto ja pintarakenne heijastusten ja pinnan värien ohella. Visualisoinnin tarkkuus ja taso on mallin luontivaiheessa valittavissa käyttötarkoituksen mukaan, on sitten tavoitteena näyttelyesineen replikointi, tutkimuskäyttö, rekvisiitta tai yksinkertaisesti esineen tavallista elävämpi ja tarkempi luettelointi. Kaiken tyyppisissä kohteissa on mahdollista mallintaa myös aikatasot ja käyttää näitä tarvittaessa visualisointiin. (Pieraccini et al, 2001)

Näin on mahdollista luoda virtuaalisia näyttelyitä, jotka ovat avoinna joko Internetissä tai jonkin reaali maailman näyttelyn lisänä esineistä ja rakennuksista, joita ei muuten ole fyysisesti saatavilla (The Virtual Hampson Museum, <http://hampson.cast.uark.edu/>). Voidaan vieraila virtuaalisesti rakennuksissa jotka on purettu tai joihin ei ole pääsyä. Malleja voidaan käyttää apuna myös restauroinnissa sekä teknisen että visuaalisen suunnittelun työvälineenä (Novello, Machis, 2011).

4.9 Kolmiulotteisen datan keräys- ja mittaustekniikat

Kohteesta kerättävien tietojen taltiointia on mahdollista tehdä mittaamalla geometriaa käsin ja luoda malli tyhjästä mallinnusohjelmassa mallintajan havaintoihin ja kerättyihin mittoihin perustuen. Tämä tekniikka on varsinkin suurissa projekteissa aikaa vievää ja epäkäytännöllistä. Lisäksi luotu malli voi näyttää tietokoneella luodulta ja epärealistiselta eikä siinä ole kovin paljon yksityiskohtia. Kun malleista halutaan kerätä tarkkaa mittatietoa, kulttuuriperintökohteiden tapauksessa käytetään kahta pääasiallista tekniikkaa: kohteesta kerätään tietoa joko valokuvaan tai etäisyysmittauksiin perustuvilla tekniikoilla. (El-Hakim, Beraldin, 2002)

Perinteisellä tavalla valokuvien avulla tehtävän kulttuuriperintökohteiden dokumentoinnin tuloksena syntyviä valokuvia voi hyödyntää myös kuvaperustaisessa mallinnuksessa, kun niissä on huomioitu kuvamittaukseen liittyviä asioita. Kuvasta voidaan suoraan laskea mittoja ja tekstuuripintoja malliin, kun tiedossa on joitakin tietoja (esimerkiksi polttoväli) kalustosta jolla kuva on otettu (Yastikli, 2007). Karkeasti mittaus saattaa referenssimittojen avulla onnistua sellaisestakin kuvasta, josta näitä tietoja ei ole saatavilla. Tämä kuitenkin edellyttää, että käytettävissä on sellaisia valokuvia, joissa useampi yksittäinen kohteen piste näkyy useassa kuvassa (El-Hakim, Beraldin, 2002). Tällöin hyödyntää konvergentti- tai panoraamakuvauksen mahdollisuuksia, jolloin valokuvista voidaan mitata hyvinkin tarkkoja mittoja. Valokuvien avulla päästään usein senttimetrien tarkkuuksiin, mutta oikein kalibroidulla konvergenttikuvaukseen suunnitellulla valokuvauslaitteistolla voidaan tietyissä tapauksissa puhua millimetrienkin tarkkuuksista (Devebec et al, 1996).

Lisäksi voidaan tehdä heijastusmittauksia siihen erikoistuneilla mittalaitteilla. On kuitenkin huomioitava, että kohteesta mitataan heijastusominaisuudet, sillä havaittu heijastus on aina riippuvainen valaistuksesta, ympäristöstä, havainnoijasta ja havainnointilaitteista (Bernardini et al, 2002). Ongelmia tuottavat kuitenkin kiiltävät, heijastavat ja läpinäkyvät esineet ja kohteet joita heijastuksiin perustuva laserskannaus ei kykene suoraan mittaamaan. Objektin muoto on taltioitava peittämällä objekti jollakin heijastamattomalla materiaalilla, mitattava geometria ääri viivoista siluettina tai muilla mittauskeinoilla, jotka eivät käytä optista mittausta. Tällöin laserkeilausdataan voidaan yhdistää tekstuureita, jotka on muodostettu kohteesta otetuista valokuvista (Achille et al, 2007).

Tässä kappaleessa kuvattujen menetelmien lisäksi on olemassa myös muita tekniikoita kohteen geometrian taltioimiseksi. Heijastamalla kohteeseen rakenteellinen valokuvio voidaan kohteen muoto laskea muutoksista tässä valokuviossa. Muoto voidaan taltioida myös kohteen siluettista siten, että kohteesta taltioidaan siluetti useista suunnista kohteen ympäriltä ja kuvat yhdistämällä saadaan esiin kolmiulotteinen muoto. Myös stereokuvasta voidaan saada kappaleen muotoja esiin. Stereokuvatekniikkaan liittyy läheisesti tekniikka, jossa mallin muoto tulkitaan videokuvasta. Muodon lähteenä voivat toimia myös pinnan tekstuuri, kohteen muodostamat varjot, kohteen terävyysanalyysi kuvissa ja varjon muoto. Muotoa voidaan laskea myös kosketukseen perustuvien mittausmenetelmien avulla. (Pavlidis et al, 2007)

4.9.1 Empiirinen mittausmenetelmä

Empiirisessä tiedonkeruumenetelmässä hyödynnetään rakennuksen tai esineen piirustuksia ja/tai oikeita mittoja tai kerätään mittoja käsin. Menetelmä on yksinkertainen ja kohtuullisella vaivalla toteutettavissa kustannusten pysyessä alhaisina. Mittausten tarkkuus ei ole useissa tapauksissa riittävä ja menetelmä vaatii pääsyn lähelle kohdetta (Pavlidis et al, 2007). Rakennuksen geometria muutetaan digitaaliseen muotoon luomalla mittojen perusteella rautalankamalli (El-Hakim, Beraldin, 2002). Esine on silti valokuvattava tekstuureja eli pintagrafiikkaa ja yksityiskohtaisia pinnanmuotoja varten. Mittamallinnus on mahdollista vain jos piirustukset tai itse kohde on saatavilla. Jos saatavilla on vain piirustuksia tai kohdetta ei ole tai siitä puuttuu osia, joudutaan tekemään arvioita.

Mittamallinnus on perinteinen tapa toisintaa esineitä digitaalisesti eikä vaadi datan käsittelyyn erityisiä ohjelmia vaan malli voidaan toteuttaa suoraan suunnitteluohjelmassa. Jos kohde toteutetaan tähän tapaan kokonaan, mittalaitteiden yhteydessä pakollinen datan siivousvaihe jää pois ja voidaan suoraan tuottaa sopiva malli. (El-Hakim, Bernaldin, 2002)

4.9.2 Fotogrammetriset menetelmät

Fotogrammetrian keinoilla voidaan määrittää kappaleiden geometrisiä ominaisuuksia valokuvista. Fotogrammetrian käyttö kolmiulotteisessa mallintamisessa tarkoittaa käytännön tasolla kohteen valokuvaamista siten, että todellisen maailman mittojen ja mittasuhteiden laskeminen kuvasta on mahdollista, kun tiedetään tiettyjä ominaisuuksia kuvauslaitteistosta. Parhaiten onnistuakseen tämä tarkoittaa sitä, että kuvauskaluston on oltava kalibroitu kohdeohjelmistoa silmälläpitäen. (Arias et al., 2005)

Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että kameran tulisi välttämättä olla kalibroitu ja kuvauslaitteiston suunniteltu juuri konvergenttikuvaukseen. Myös kuluttajatason laitteilla on mahdollista kuvata ilman kalibrointia kohteita siten, että niistä saadaan hyvinkin tarkkoja mittaustuloksia (D'Ayala et al., 2003). Tämän edellytyksenä on, että kuvat on otettu siten että tiedetään jokaisessa kuvassa täsmällinen polttoväli ja kohde on kuvattu kattavasti. Kohde valokuvataan siten, että useita pisteitä kohteesta näkyy useassa, vähintään kahdessa, mieluiten viidessä tai useammassa kuvassa. Kahden kuvan tapauksessa kuvien on oltava stereokuvat. Kuvien perusteella kuvamallinnusohjelmistossa suoritetaan vääristymät ja lasketaan geometria sekä niin haluttaessa jopa bittikarttapinnoitteet eli tekstuurit suoraan kuvista objektille (Andrés et al, 2011).

Kuviin pohjautuva mallinnus on nopeaa, mutta kuvista on hankala saada esiin epäsäännöllisiä muotoja ja sitä on hankala hyödyntää esimerkiksi veistosten tai muotoiltujen pintojen yhteydessä. Kuvaus on myös suunniteltava hyvin. Kuvat on otettava huolellisesti siten, että ne kattavat hyvissä kuvakulmissa kohteen riittävällä tasolla. Muuten mallin muodostus esimerkiksi kuvamallinnusohjelmassa ei välttämättä onnistu. (El-Hakim, Bernaldin, 2002)

Fotogrammetristen menetelmien käyttö on yleisesti edullisempaa kuin laserkeilaus. Laittekulut ovat pienemmät, ja pienemmällä työmäärällä voidaan päästä tyydyttävään tulokseen kun tarkkuutta ei vaadita paljon (Boehler, Marbs, 2004).

4.9.3 Laserkeilaus

Laserkeilaus perustuu kahteen periaatteeseen. Keilaimet ovat joko etäisyyskeilaimia tai kolmiomittaukseen perustuvia keilaimia. Etäisyyskeilain laskee kohteen pisteen etäisyyden laitteesta joko mittaamalla kohteeseen lähetetyn pulssin kulkeman matkan sen heijastuessa takaisin laitteeseen mittaamalla kohteeseen lähetetyn signaalin vaihe-eroa. Kolmiomittaukseen perustuvalla laserkeilaimella pisteen sijainti mitataan lähettämällä lasersignaali kohteeseen, josta kamera havainnoi pisteen sijainnin. (Boehler, Marbs, 2002)

Keilaimilla mitataan useista paikoista etäisyys tiettyyn pisteeseen kohteessa kohteen pysyessä paikallaan. Tuloksena syntyy valtava määrä mittatarkkaa dataa kohteesta, joka voidaan säilyttää ja sitoa oikeisiin koordinaatteihin jo mittausvaiheessa. Data vaatii paljon prosessointia ennen soveltavaa käyttöä, mutta on tarkkaa. Laserkeilausta teknologiana voidaan soveltaa sekä pieniin että suuriin kohteisiin, mutta laitteisto on valittava kohteen koon ja mittausetäisyyden mukaan. Maisemakohteita ja julkisivuja voidaan keilata maalaserkeilaimilla, mutta esineistölle soveltuu paremmin joko paikallaan pysyvä mittauslaite johon esine kiinnitetään tai kädessä pidettävä keilauslaite jolla esine skannataan esineen pysyessä paikoillaan. Kulttuuriperintökohteita digitoitaessa kohteiden koko vaihtelee suuresti, eikä yksi skanneri sovellu kaikenkokoisille laitteille. Kaikkien kohteiden kattamiseksi keilaimia tulisi olla kolmesta etäisyysluokasta: 0,1–1 m, 1–10 m ja 10–100 m. Valitsemalla sopiva laite jokaiselle etäisyysvälille tarkkuus todennäköisesti riittää kulttuuriperintökohteen dokumentointiin. (Boehler, Marbs, 2002)

Laserkeilainta valittaessa kohdetta varten on huomioitavia seikkoja ovat (Boehler, Marbs, 2002):

- Virheherkkyys
- Keilausnopeus
- Resoluutio
- Etäisyysrajat
- Mittausta häiritsevä säteily
- Kuvakulma
- Laitteen mahdollinen kuvan tuottava kamera jolla voidaan taltioida tekstuuri
- Kuljetuksen helppous
- Virtalähteen tyyppi
- Skannausohjelmiston laatu

Laserkeilaus tuottaa tarkkaa dataa, mutta on aikaa vievää. Dataa joudutaan keräämään esimerkiksi rakennuksen keilaamiseksi useista keilauspisteistä ja keilaukseen voi kulua laitteesta riippuen paljonkin aikaa. Tämän lisäksi datan suuri määrä sekä virheherkkyys tarkoittaa suurempaa ajankäyttöä laitteen tuottaman datan käsittelyssä (El-Hakim, Bernaldin, 2002).

4.9.4 Yhdistelmätekniikat

Erilaisia mittausmenetelmiä voidaan myös yhdistellä. Tällöin voidaan hyödyntää kunkin menetelmän hyviä puolia. Voidaan esimerkiksi luoda geometria mittamallinnuksen avulla ja tekstuurit valokuvista oikaisemalla konvergenttikuvien tapaan. Konvergenttikuvista luodaan tekstuurit laserkeilaimen mallia varten. Laserkeilaimet voivat myös tallentaa kuvaa ja väriarvoja, jolloin pintatieto saadaan talteen myös sitä kautta.

El-Hakim ja Bernaldin (2002) kuvaavat tutkimuksessaan kuinka kuvapohjainen mallinnus on mahdollista yhdistää laserkeilaukseen. Tällöin perusmuodot määritellään kuvamallinnuksen, kuten konvergenttikuvauksen, menetelmillä ja yksityiskohdat laserkeilataan. Kuvamallinnustietoon merkitään viitepisteitä joiden avulla laserkeilausdata

yhdistetään jälkikäsitteilyvaiheessa lopulliseen malliin. Menetelmät yhdistämällä kohteen yksinkertaisemmat osat voidaan mallintaa nopeammin ja pienemmällä datamäärällä. Tarkempaa tiedonkeruuta vaativat kohteet käsitellään siihen paremmin sopivalla menetelmällä. Perusmallin luonti käsittelyä voidaan automatisoida kummassakin tekniikassa, ja jälkityöstössä yhdistetään kummallakin tavalla tuotettu data.

5 TAPAUSTUTKIMUKSET

5.1 Esimerkkikohteiden valintaperusteet

Esimerkkikohteiden valinnassa pyrittiin monipuolisuuteen. Yhteistyökumppaneiden tarpeita käytiin läpi, ja hankkeen keston puitteissa päätettiin valita kolme erilaista kohdetta tarkempaan käsittelyyn sen mukaan mikä olisi kokoluokka ja millaista dataa kohteesta olisi mahdollista saada. Valinnat tehtiin myös alueellisin perustein, sillä hankerahoitus vaati toiminnan kohdistamista maakunnan alueelle. Hankkeen kuluessa mukaan tuli myös pienempiä kohteita, joissa tehtiin yksittäisiä testejä erilaisten työkalujen käytöstä.

Pääkohteina säilyivät läpi hankkeen kuitenkin Mikkelissä sijaitseva Marsalkka Mannerheimin salonkivaunu, Ristiinan Astuvansalmen kallio ja kalliomaalaukset sekä Olavinlinnan alue sekä itse linna. Mannerheimin salonkivaunun pääasialliseksi tekniikaksi valikoitui valokuva- ja konvergenttikuvamallinnus, Astuvansalmen kalliomaalauksissa testattiin kallion laserkeilausta sekä paikannusta ja Olavinlinnasta toteutettiin aluemalli jonka lisäksi tutkittiin Aalto-yliopiston teknillisen korkeakoulun fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laitoksen tutkimusten tuloksena syntynyttä kaukokeilausdataa. Pienempiä kohteita olivat muun muassa Mikkelin kivisakasti ja Marsalkka Mannerheimin patsas Mikkelin torilla. Näissä kohteissa testattiin pääasiassa valokuvamallinnuksen avulla kerätyn datan käsittelyä erilaisilla ohjelmistoilla.

5.2 Yleistä tiedonkeruusta esimerkkikohteissa

Kirjallisuustutkimuksen perusteella dataa kolmiulotteisista kohteista voidaan kerätä useilla tavoilla karkeasta käsin mittauksesta millimetrien tuhannesosien tarkkuudella tapahtuvaan skannaukseen ja heijastusmittauksineen. Näitä tekniikoita voidaan myös yhdistellä. On mahdollista mitata kohde käsin, mittanauhalla ja muilla perinteisillä työkaluilla tai arvioida silmämääräisesti ja mallintaa kohde niin sanotusti taiteilijan näkemyksellä jolloin taltioituu mallintajan visuaalinen näkemys kohteesta sen sijaan että lopputulos olisi mittatarkka. Tätä tapaa voi tarkentaa käyttämällä esimerkiksi lasermittanauhaa.

Tutkimuskäyttöön useimmiten on kuitenkin tarve pyrkiä mittatarkkaan mallinnukseen, jolloin tarvitaan mittanauhan lisäksi muitakin tekniikoita. Mittanauhalla voidaan päästä jonkinlaiseen geometriseen tarkkuuteen, mutta tällöin pinnanmuodot, materiaalit ja heijastukset jäävät silmämääräisiksi arvioiksi. Muistin tukena käytetään valokuvia kohteesta. Mannerheimin salonkivaunun osia mallinnusten tiedonkeruusta toteutettiin tällä tavoin, mittoja otettiin paikan päällä ja niitä verrattiin olemassa oleviin piirustuksiin Marsalkka Mannerheimin salonkivaunusta. Kohteessa sovellettiin myös fotogrammetrisia menetelmiä. Astuvansalmen ja Olavinlinnan osalta pääpaino tämän työn puitteissa oli laserkeilausmenetelmissä.

5.3 Yksityiskohtaisuuden tason määrittely tutkimuksen tapauksissa

Tutkimuksen pääkohteissa kaikkien tapausten lopulliseksi tavoitteeksi määriteltiin jokin tietty käyttötarkoitus projektitiimin ja yhteistyökumppanien yhteisellä pohdinnalla. Tapausten tavoite muodostui tätä kautta eikä tässä päätetty tuottaa nimenomaisesti arkistokäyttöön tarkoitettua mallia, vaan käyttötarkoitus kiinnitettiin suunnittelun yhteydessä. Tähän päätökseen tultiin olemassa olevan tutkimusmateriaalin ja jo toteutettujen projektien perusteella. Yksityiskohtaisuuden tason määrittäminen osoittautui jo tässä vaiheessa tärkeäksi jotta laitevalinnat ja kustannukset on helpompi kartoittaa.

5.4 Mannerheimin salonkivaunu

Mikkelin museotoimen kanssa yhteistyössä Viva3:ssa toteutettiin Marsalkka Mannerheimin junan salonkivaunun virtuaaliesittely. Esittelyn tarkoitus on parantaa vaunun saatavuutta yleisölle ja mahdollistaa vaunuun ja sen historiaan tutustuminen tarkemmin ja vapaammin kuin tällä hetkellä on mahdollista. Vain Marsalkan syntymäpäivänä, Suomen armeijan lippujuhlan päivänä 4. kesäkuuta avoinna oleva vaunu on nyt tarkasteltavissa virtuaalisesti Mikkelin Päämajamuseossa, ja esittely toteutetaan myös Internet-pohjaisena.

Hankkeen kannalta vaunun yhteydessä tutkittiin ja testattiin mahdollisia tapoja kerätä tietoa vaunun kokoluokan rakennuksen ulko- sekä sisäpuolelta sekä suunniteltiin digitaalinen ympäristö mallin ja siihen liitetyn tiedon esittämistä varten. Vaunun mallinnusta varten kerättiin tietoa sekä perinteisesti piirustusten, mittausten ja valokuvien avulla sekä fotogrammetrisin keinoin.

Mallia varten suunniteltiin ja toteutettiin pelimootoriin perustuva esittelyohjelma, joka käytännössä on esittelypisteessä esillä Mikkelin päämajamuseossa. Ohjaus tapahtuu kosketusnäytölle suunnitellulla käyttöliittymällä, jonka avulla vaunun sisällä liikutaan ja tarkastellaan erilaisia vaunuun liitettyjä dokumentteja, videoita ja valokuvia sekä tekstiä. Näin historiallinen tieto voidaan sijoittaa oikeaan kontekstiin ja lähestyä kohteen esittelyä interaktiivisesti. Kuvassa 1 on nähtävillä vaunusta syntynyt malli sellaisena kuin se esittelypisteessä käyttöliittymän kanssa esitetään. Käyttöliittymä mahdollistaa vapaan liikkumisen mallissa. Ohjelma on rakenteeltaan sovellettavissa joustavasti varsin monipuolisten 3D-mallien tarkempaan esittelyyn. Mannerheimin salonkivaunun esittelypäätte julkaistiin ja otettiin käyttöön päämajamuseolla 3.12.2010, ja Internetiin esittely saapui paremmin soveltuvassa muodossa kevään 2011 aikana (<http://salonkivaunu.mikkeli.fi/>).



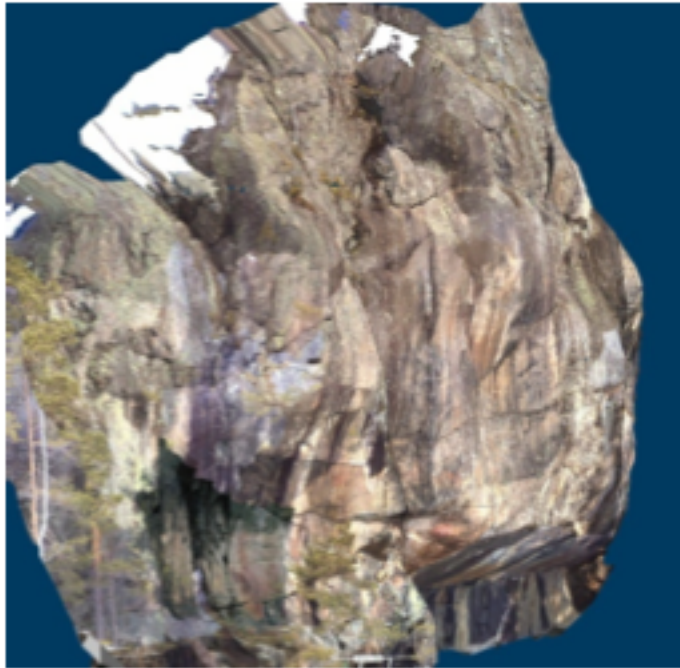
Kuva 1. Salonkivaunun malli esittelysovelluksessa. Kuva: Hannu Tyrväinen.

5.5 Astuvansalmen kalliomaalaukset

Astuvansalmen kallio ja kalliomaalaukset ovat komea ympäristö mutta sijainti on hankala eikä kaikille ole sinne mahdollisuutta matkata tutustumaan. Astuvansalmen kolmiulotteisella digitoinnilla on tarkoitus saada kallio ja maalaukset esiin uudella tavalla sekä tutkijoille että yleisölle, mikä tarkoittaa yhtäaikaaisesti sekä näyttävää että tarkkaa esitystä. Mallin on oltava yksityiskohtainen ja maalausten on sijaittava kallioon ja sen erikoislaatuiseen muotoon nähden täsmälleen siinä missä ne reaali maailmassakin sijaitsevat.

Kohde on Viva3:n kooltaan suurin mallinnus- ja tiedonkeruukohde, ja tiedonkeruuta ajatellen haastava. Kallio sijaitsee järven äärellä, vedenpinta maalausten tekoaikaan on ollut korkeammalla ja tiedonkeruu pelkästään ilmakuvamateriaalin perusteella on hankalaa. Veden läheisyys taas asettaa haasteita laserkeilaukselle, sillä keilaus vaatii tukevaa alustaa ja tiettyä rajattua välimatkaa kohteeseen. Täten keilaus tehtiin sellaiseen aikaan jolloin tämä voitiin vielä toteuttaa jäältä kuitenkin siten että lumi kallion päällä ei haittaa keilaustulosta. Kalliomuodostelma näyttää tietyistä kulmista katsottuna ihmiskasvoilta. Tämä ominaisuus saatiin hyvin esiin kolmiulotteisen mallin avulla. Luonnossa tämän näkeminen on edellä kuvatuista syistä hankalaa. Kuvassa 2 esitetään pistepilviaineiston avulla luotu teksturoitu malli Astuvansalmen kalliosta.

Astuvansalmen hyödyntämistä mediakäytössä kokeiltiin virtuaalitudion avulla, jolloin mallista rakennettiin virtuaalitudion järjestelmiin sopiva versio tarkemman mallin pohjalta. Parhailtaan jälkituotannossa on video Astuvansalmen Amatsonien tanssiteatteriesityksestä. Mallia käytetään siis videotuotannon ja Amatsonien tarinankerronnan elävöittämiseksi.



Kuva 2. 3D-malli Astuvansalmen kalliosta. Kuva: Esa Hannus.

5.6 Olavinlinna

Olavinlinnaan liittyy valtaisa määrä tietoa. Viva3:ssa Olavinlinnan ympäristöstä luotiin hankekumppani GISdim3 Oy:n toimesta maantieteelliseen mittaus-, kartta- ja valokuva-aineistoon perustuen aluemalli, jossa sekä linna että sen ympäristö ovat oikeilla kohdillaan, oikeassa koordinaatistossa ja oikeilla mittasuhteilla. Kuten Salonkivaunun tapauksessa, tähänkin malliin sekä tarkempaan malliin Olavinlinnasta voidaan liittää tietoa selattavaksi joko kaksiulotteisen karttaliittymän tai kolmiulotteisen linnan tai alueen mallin avulla. Dokumentit ja niihin liittyvä tieto paikannetaan mallissa niille määritellyn sijainnin perusteella.

Olavinlinnan tarkempaa mallinnusta varten on myös kokeiltu erilaisia mallinnusprosessia nopeuttavia tiedonkeruutapoja kuten laserkeilausta ja fotogrammetriaa. Tarkemman mallinnuksen testikohteena käytettiin Olavinlinnan korjaustoimenpiteiden alla olevaa paksua bastionia. Tapauksessa kokeiltiin ulkomuurista tuotetun pistepilviaineiston soveltamista Aalto-yliopiston teknillisen korkeakoulun Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laitoksen tuottamalla materiaalilla.

Olavinlinnan tiedonkeruun ja mallinnuksen lisäksi Viva3:ssa rakennetaan parhaillaan 2D- ja 3D- paikkatietopalvelinympäristöä, jonka avulla Olavinlinnaan liittyvää tietoa voidaan selata ja paikantaa. Tähän ympäristöön rakennetaan aluksi kaksiulotteinen karttoihin perustuva liittymä, ja jatkossa selailuun voidaan käyttää myös Salonkivaunun esittelyyn toteutetun sovelluksen tyyppistä ratkaisua kolmessa ulottuvuudessa.

5.7 Prosessin muuttuminen erityyppisissä kohteissa

Työvälineitä esimerkkitapauksille valittaessa havaittiin, että yhden yleispätevän tekniikan valitseminen ja soveltaminen kaikkiin kohteisiin ei onnistu. Valokuvaaminen on sovellettavissa ehkä laaja-alaisimmin, mutta esimerkiksi kallion tapauksessa mallin muotoa ja ihmiskasvoja ei saataisi riittävän hyvin esiin jos malli rakennetaan valokuvista. Riittävään tarkkuuteen ei yksinkertaisesti päästäisi sillä valokuvaus siten että kallion muoto voidaan kuvista määritellä on hankalaa ellei mahdotonta. Tämän toteamiseksi tarvittaisiin jatkotutkimus kallion dokumentoimisesta fotogrammetrisin menetelmin tai videon avulla ja vertailu tässä syntyneeseen malliin.

Laserkeilaus sopivan etäisyyden laitteilla mahdollisti keilauksen muutamasta pisteestä, jolloin koko kallion muoto saatiin talteen alustavine tekstuureineen. Tarkemmat tekstuurit itse kalliomaalauksista lisättiin jälkikäteen. Tässä hyödynnettiin jo aiemmin otettuja valokuvia, joita ei oltu suunniteltu käytettäväksi tähän tapaan. Käytetyt kuvat oli otettu nimenomaan maalausten dokumentointia ajatellen huomioimatta kallion muotoa. Kohteen sijainti oli hankala ja sääolot oli otettava tarkasti huomioon.

Mannerheimin salonkivaunussa valokuvaus oli olennainen osa prosessia. Runkomalli muodostettiin konvergenttikuvista muodostetun rautalankamallin avulla jolloin ulkomitoissa päästiin noin senttimetrin tarkkuuteen. Tämän lisäksi tekstuurien taltioinnissa valokuvaus oli päämenetelmä. Keilausta kokeiltiin esineistön kanssa myös vaunun tapauksessa kustannustehokkailla menetelmillä kuten web-kameratason kameraan, paikallaan pysyvään mittaustaustaan ja ohjelmistoon perustuvalla kokonaisratkaisulla sekä

stereokuvauksella. Kiiltävät, läpinäkyvät (silmälasit) ja monimutkaiset esineet (saapasharja) aiheuttivat vaikeuksia. Täten nämä esineet mallinnettiin mittojen mukaan käsin jalostaen tekstuurit ja pinnat valokuvista. Joitakin mittoja mallia varten käytiin jälkikäteen tarkistamassa lasermittanauhalla. Stereokuvaus tuotti hyvätasoisien mallin Marsalkan suikasta, mutta tässä tilanteessa huomattiin, että kuvaustilanteen valaistus tulee suunnitella huomattavasti paremmin kuin koejärjestelyissä tehtiin. Mallin runkoa käytettiin kuitenkin lopputuloksessa, mutta tekstuurit korvattiin tekemällä ne käsin hyödyntämällä stereokuvia niiltä osin joissa tekstuuri oli hyvälaatuinen.

Vaunun kohdalla prosessia korjattiin ja huomattiin että erityisen oleellista on tarkka etukäteissuunnittelu ja tieto siitä mitkä kohteet ovat olennaisia digitoinnin kannalta. Jos kohteen digitointi tapahtuu vain kerran eikä kohteeseen tämän jälkeen pääse, monet asiat voivat helposti jäädä arvioinnin varaan jos etukäteissuunnittelua ei ole tehty huolella. Kuitenkin voidaan todeta, että jos kohde on valokuvattu hyvin, puuttuvia mittoja voidaan määrittää valokuvista myös silloin kun kuvauskalustoa ei erikseen ole tähän tarkoitukseen kalibroitu. Samoin yksityiskohtia voidaan korjata ja tekstuureja hakea niistäkin valokuvista, joissa kohde ei ole pääosassa mutta kuitenkin näkyy. Toisin sanoen, valokuvat voivat pelastaa virheiltä dokumentaatiovaiheessa jonkin verran, mutta silti aina on muistettava että arvioita ei tule dokumentoida ja jos näin tehdään, ne on merkittävä arvioiksi.

Vaunun tiedonkeruukokemusten perusteella kuvamallinnus soveltuu hyvin rakennusten taltiointiin ja mallinnukseen sekä sisä- että ulkotiloissa. Lähtödatana käytetään periaatteessa ainoastaan tarkoitukseen sopivia valokuvia rakennuksesta, jo muutamalla valokuvalla päästään jonkinlaiseen yksityiskohtaisuuden tasoon mutta ei mittatarkkaan malliin. Tietyin rajoin onnistunee siis myös sellaisten rakennusten mallinnus, joista on paljon valokuvia mutta ei muuta dataa. Malli on todennäköisesti tarkkuusrajoituksin mahdollista luoda myös vanhoista valmiista valokuvista joista mittasuhteet voidaan jollakin tasolla saada selville mutta ei varsinaista mittatietoa kameran ja linssin tietojen puuttuessa.

Olavinlinnan dokumentoinnin prosessiin vaikuttaa jälleen hankala sijainti. Aalto-yliopiston Teknillisen korkeakoulun kaukokartoituksen ja fotogrammetrian laitoksella kehitettyä mittaustekniikkaa hyödyntämällä syntyi yksityiskohtaista dataa ulkoseinästä jopa järven yli. Paksun bastionin sisäpinnat digitoitiin laserkeilauksen avulla. Kohde on sinällään laaja, ja tehdyt mittaukset Bastionissa olivat tämän työn asetettuun loppukäyttöön nähden turhan järeitä, mutta tekniikan testauksen kannalta erinomaisia. Toisaalta Bastionin sisäpinnan muodot ovat sen verran epäsäännöllisiä, että kuvamallinnusohjelmien avulla kuvien sijoittelu ja muotojen hahmottaminen oli hankalaa. Tällaiseen tilaan laserkeilaus lienee pakollinen apuväline kun halutaan päästä vähintään senttimetrien tarkkuuksiin ilman arviointia. Tässäkin tapauksessa valokuvauksella oli jälleen dokumentoinnin kannalta iso rooli.

Kokeet vahvistivat, että ennakkosuunnittelu on ensiarvoisen tärkeää mitä tahansa kohteita digitoitaessa. Ennakkosuunnittelussa tulee etenkin selvittää miten mallia mahdollisesti tullaan käyttämään. Tämä rajaa dokumentoinnin yksityiskohtaisuutta ja vaikuttaa työmääriin suoraan ja ratkaisevasti. Toinen tärkeä asia on pohtia ennakkosuunnittelussa mikä kohteessa on olennaista, jos jotkin osat on dokumentoitava tarkemmin. Valokuvaus oli jokaisessa kohteessa suuri apu kolmiulotteista dokumentaatiota ajatellen, ja samalla voidaan tehdä perinteisempää valokuvausdokumentointia. Sen osalta voidaan todeta, että kohteen hyvälaatuinen ja kattava valokuvaus edesauttaa mallin tuottamista myös silloin, kun saatavilla on vain pelkkiä valokuvia eikä itse kohdetta.

5.8 Kustannukset projekteissa

Kustannusten suhteen edullisinta oli datan kerääminen valokuvaamalla, sillä tämä tiedonkeruu on edullista sekä laitteiston että työajan käytön suhteen. Laitteisto voi olla tavallista digitaalista valokuvauskalustoa, välttämättä tarvetta ei ole edes ammattilaistason valokuvauskalustolle vaikka tästä onkin hyötyä objektiivien ja kameran kalibroinnin suhteen. Käytetyn työajan suhteen säästöjä syntyy kun tavallinen valokuvausdokumentaatio voidaan suorittaa limittäin kolmiulotteiseen malliin tähtäävän tiedonkeruun kanssa.

Edulliset skannauslaitteet ovat tuoneet tällaisen skannauksen lähemmäs tutkimuksen tarkoitusta, mutta näiden skannereiden laatu ei vielä välttämättä yllä tarvittavalle tasolle kun tehdään tutkimuskäyttöön tarkoitettua skannausta. Visualisoinnin kannalta lopputulokset sen sijaan voivat olla käytettäviä. Tällaisessa tilanteessa kustannuksia voidaan laskea matalan kustannustason skannereilla. Tutkimuskäyttöön korkealaatuisia skannereita toki tarvitaan, mutta niiden käytön kustannuksia on mahdollista laskea käyttämällä vuokrauspalveluja.

6 TULOKSET

6.1 Työn tuloksena syntynyt prosessi

Työn lopputuloksena luotu prosessi voidaan jakaa viiteen vaiheeseen, jotka ovat:

1. digitointiprojektin suunnittelu,
2. tiedon kerääminen,
3. tiedon jatkokäsittely,
4. tiedon arkistointi ja
5. tiedon jalostaminen.

Hypoteesin vaiheiden, jotka esitettiin kappaleessa kolme, rinnalle on kirjallisuustutkimuksen perusteella nostettava omaksi ensimmäiseksi vaiheeseen digitointiprojektin suunnittelu, sillä tämä vaihe on onnistumisen kannalta ensiarvoisen tärkeä. Lisäksi jatkokäsittely ja arkistointi jaetaan omiksi vaiheikseen. Muokkausvaihe siirretään osaksi viidettä tiedon jalostamisen vaihetta, sillä arkistointitarkoituksissa olisi hyvä käyttää digital masteria eli alkuperäistä kerättyä dataa.

Tiedon jatkokäsittelyllä tarkoitetaan tiedon käsittelyä heti keräämisen jälkeen. Jatkokäsittely, arkistointi ja jalostaminen on jaettu omiin vaiheisiinsa, sillä prosessi voi päättyä arkistointiin jos se on ollut digitoinnin alkuperäinen tarkoitus. Arkistointi on joka tapauksessa tiedon saavutettavuuden ja säilyttämisen kannalta olennainen osa prosessia. Jalostamisvaiheessa tieto sovelletaan käyttötarkoitukseensa.

Prosessin rakennuksessa on hyödynnetty kirjallisuustutkimuksen perusteella löytyneitä aikaisempia kokemuksia muista tutkimuksista ja projekteista sekä kokemuksia Viva3-hankkeen puitteissa tehdyistä kokeiluista. Prosessi painottaa ennakkosuunnittelua, sillä tämä oli ehdottomasti vahvin parannuksen kohde Viva3-hankkeen kohteissa. Tutkimuksen kuluessa tarkempaa kustannusseurantaa olisi tullut hyödyntää tässä työssä, jotta tuloksia olisi voinut tarkemmin analysoida. Tällaisenaan prosessiehdotus tarjoaa raamin hyvälle

käytännöille tulevissa digitointiprojekteissa, mutta ei suoraan tarjoa konkreettisia tapoja kustannusten vähentämiseen, jos ennakkosuunnittelun onnistumista ei sellaiseksi lasketa.

6.2 Prosessin kuluessa huomioitavia asioita

Kappaleessa 1.1 kuvattiin syitä miksi kolmiulotteista digitointia tehdään. On mahdollista, että dokumentoinnille on vain yksi listalla määritelty tarkoitus, tai dokumentointia tehdään useista syistä. Kun dokumentointia tehdään yhteen selkeään tarkoitukseen, esimerkiksi verkkoesitystä varten, voidaan tästä heti vetää johtopäätöksiä sen suhteen, että mallin ei tarvitse olla välttämättä kovin yksityiskohtainen. Riittää, että malli visuaalisesti muistuttaa kohdetta ja on riittävän uskottava. Jos tarkoituksena on rakenteellisen kunnan arviointi tai konservointi olennaista on, että kohde on hyvin tarkasti digitoitu etenkin viallisten kohteiden osalta. Tällaisessa tilanteessa tekniikan valinta ja kohteen profilointi voi olla hyvin suoraviivaista. Kun motiiveja on useita, tilanne monimutkaistuu. Kaikkien tarpeet on huomioitava erikseen. Tällöin profiloinnilta vaaditaan huomattavasti enemmän ja on tarkkaan pohdittava kustannusten muotoutumista. Mitä useampia motiiveja (ja lopulta käyttötarkoituksia) digitoinnille on, sitä suurempi työmäärä ja laitevalikoima tarvitaan ja tämä tarkoittaa kustannusten nousua.

Laitteet on valittava pohtimalla kohteen ominaisuuksia ja valitsemalla niihin soveltuva teknologia. Tässä vaiheessa koon merkitys on suuri, pienissä kohteissa laitteiston on kyettävä pieneen pistetiheyteen, ja suurissa tärkeämpää on mittausetäisyys tarvittavan pistetiheyden ollessa pienempi. Toisaalta suurenkin kohteen digitointiin voidaan tarvita yksityiskohtaiseen digitointiin kykeneviä laitteita ja työtapoja jos olennaisia yksityiskohtia on paljon. Tällöin kohteen geometrinen tarkkuus on suuri, ja voi olla hyödyllistä digitoida kohde ensin suurilta etäisyyksiltä ja keskittyä sen jälkeen erikseen yksityiskohtiin ja yhdistää data jälkikäsittelevä vaiheessa kuten El-Hakim ja Bernaldin (2002) tekivät. Pienessä kohteessa pärjätään automaattisesti pelkästään yksityiskohtaisen digitoinnin laitteistolla ja työllä, mutta yksityiskohtien taltiointi voi osoittautua aikaa vieväksi tässäkin jos geometrinen monimutkaisuus on suurta. Kvalitatiivisessa vaiheessa määritellään priorisoinnin mukaisesti resoluutio eli osakohteesta tarvittavien mittauspisteiden määrä.

Eräs huomioitava tekijä on, että vaikka pienestä ja suuresta kohteesta haluttaisiin sama määrä mittauspisteitä, mittausvaiheessa tällä on suuri vaikutus mutta merkitys katoaa jälkikäsittelevä vaiheessa. Fyysisesti suuren ja pienen kohteen käsittely mittauksen jälkeen ei eroa käytännössä jos kohteet ovat matemaattisesti ja geometrialtaan yhtä monimutkaisia.

Tiedonkeruun jälkeen siirryttäessä jälkityöstöön kohteen koko ei enää ole prosessin kannalta merkityksellinen tekijä muuten kuin sen suhteen, että mittatiedon on säilyttävä kohteen mukana. Monimutkaisuus sen sijaan on. Jos pienen ja suuren kohteen halutaan olevan yhtä monimutkaisia tiedonkeruun jälkeen, niistä kerätään yhtä paljon mittauspisteitä. Loppukäyttö ja kustannukset sanelevat tarvittavien mittauspisteiden määrän. Kustannukset nostavat esiin myös kysymyksen siitä tarvitaanko kohteesta täsmällinen ja todellisuutta tarkalleen digitointi vai riittääkö visuaalisesti vastaava esitys, jossa esimerkiksi pienet materiaalin aiheuttamat pinnanmuodot voidaan laskea ja simuloida. Tällaisia muotoja ovat esimerkiksi puun pinnan muotovaihtelut ja esimerkiksi saven pintatekstuuri. Visuaalisuutta varten tällaista ei usein tarvitse digitoida, mutta vastaavan kokoluokan muutokset, kuten kulumajäljet, voivat jo olla olennaista dataa. Dokumentoinnista on käytävä ilmi mikä on todellista dokumentointia ja mikä arvio tai simulaatio.

6.3 Prosessikuvaus

Digitointiprosessin toteutus koostuu kolmesta vaiheesta jotka jaetaan pienempiin osakokonaisuuksiin. Alla kuvataan prosessin kulku ja kuvassa 3 esitetään tutkimuksen tuloksena syntyneen prosessimallin prosessikaavio vaiheiden päätasolla. Kuvissa 4, 5, 6 ja 7 esitellään yksityiskohtaisemmin prosessin suunnittelu-, tiedonkeruu-, jatkokäsittely- ja arkistointivaiheet.

1. Suunnittelu (kvalitatiivinen vaihe)

1.1. Suunnittelumallin luonti

1.2. Kohteen jako osakokonaisuuksiin

- 1.3. Osakokonaisuuksien priorisointi
- 1.4. Käyttötarpeen määrittely
- 1.5. Dokumentointisuunnitelman luonti
- 1.6. Dokumentaatio-suunnitelman hyväksyminen

2. Tiedonkeruu (kvantitatiivinen vaihe)

- 2.1. Kohteen osakokonaisuuksien resoluution määrittely
- 2.2. Mittaustekniikoiden valinta
- 2.3. Mittauksen suunnittelu
- 2.4. Tilaajan konsultointi ja hyväksyntä suunnitelmalle ja budjetille
- 2.5. Datan keruu

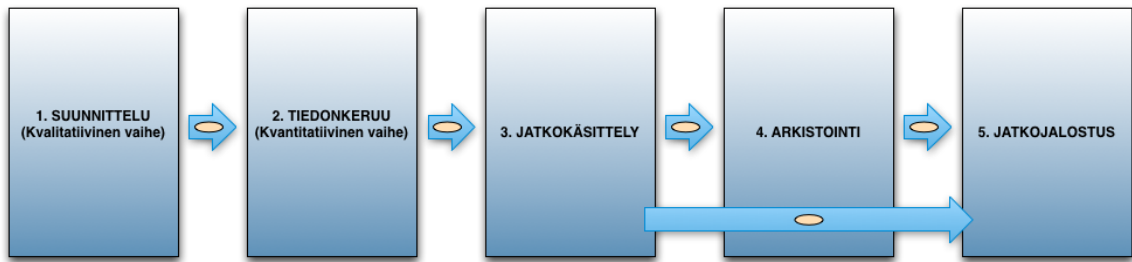
3. Jatkokäsittely

- 3.1. Datan arviointi ja käsittelysuunnitelman luonti
- 3.2. Datan siivous
- 3.3. Datan yhdistäminen kokonaisuudeksi
- 3.4. Datan konvertointi arkistointia tai jatkokäyttöä (esimerkiksi visualisointi) varten
- 3.5. Tilaajan hyväksyntä

4. Arkistointi

- 4.1. Mallin luonti datasta esitystä ja selausta varten
- 4.2. Metadatan luonti (sisältäen priorisointikuvaukset)
- 4.3. Tilaajan hyväksyntä
- 4.4. Pitkäaikaissäilytys

5. Jatkojalostus



Kuva 3. Tutkimuksen tuloksena syntyneen prosessimallin prosessikaavio päätasolla.

6.3.1 Vaihe 1: Suunnittelu (Kvalitatiivinen vaihe)

Ensimmäisessä vaiheessa suunnitellaan kohteen dokumentointi siten, että luodaan kohteesta karkea runkomalli suunnittelua varten (tästä käytetään jäljempänä nimitystä suunnittelumalli). Kohde jaetaan osiin sen rakenteen ja yksityiskohtien perusteella, jonka jälkeen suunnittelumalliin merkitään kohteiden priorisointi, määritellään mahdollinen käyttökohde sekä luodaan dokumentointisuunnitelma joka hyväksytetään tilaajalla. Vaiheen tarkoitus on varmistaa kunnollisen dokumentointisuunnitelman syntyminen, eikä vaiheeseen 2 edetä ennen kuin dokumentointisuunnitelma on hyväksyttävästi luotu. Ensimmäiseen vaiheeseen osallistuvat kaikki projektiin osallistuvat tieteenalat ja tilaaja.

Vaiheessa 1.1 luodaan suunnittelumalli eli karkea kolmiulotteinen rekonstruktio kohteesta työvaiheen perustaksi. Suunnittelumalli on hyvin karkea esitys, eikä siihen tulisi käyttää valtavasti työaikaa. Suunnittelumallin tarkoitus on helpottaa seuraavia vaiheita ja lähinnä kuvata kohde yleisellä tasolla.

Vaiheessa 1.2 jaetaan kohde osakokonaisuuksiksi rakenteen perusteella. Suunnittelumalliin merkitään tässä vaiheessa jako sekä perustelut miksi jako on toteutettu näin. Osakokonaisuuksiksi jakaminen helpottaa projektin käsittelyä ja tämän jaon perusteella voidaan myöhemmin valita myös erilaisia tiedonkeruumenetelmiä eri osille. Voidaan esimerkiksi päätyä rakennuksen rungon muodostamiseen fotogrammetrisilla menetelmillä mutta tehdä laserkeilausta huomattavien yksityiskohtien kohdalla. Osakokonaisuuksiin jakamisen voi suorittaa henkilö, jolla on tekninen tuntemus tiedonkeruumenetelmistä. Jakoa tulee voida tarkentaa vaiheessa 1.3 jos tarvetta ilmenee.

Vaiheessa 1.3 priorisoidaan osakokonaisuudet kulttuurihistoriallisin perustein ja suhteessa kokonaisuuteen. Priorisointi tehdään luokittelemalla kohteen osakokonaisuudet tärkeysjärjestykseen pohtien sitä, mikä kohteen kannalta on olennaista saada tarkasti taltioitua. Käytetään esimerkkinä hirsirakennusta. Voidaan esimerkiksi priorisoida siten, että esimerkiksi hirsien sijoittelu on niiden pinnan väriä ja pieniä geometrian muutoksia tärkeämpää. Samassa kohteessa voi taas olla olennaista, että rakennuksen esineistö taltioidaan tarkemmin pinnanmuodot, heijastukset ja värit tarkasti huomioon ottaen. Välimuoto voisi taas olla vaikka kiviuuni, jonka pintamateriaaleista halutaan tarkempi tieto esimerkiksi siten että pystytään arvioimaan rakennustyön toteutustapaa. Silloin olennaista olisi esimerkiksi selvittää tiilien sijoitukset sellaisina kuin ne oikeasti kohteessa olivat, pelkkä pintatekstuurin monistaminen ei kelpaa kuten esimerkiksi hirsien tapauksessa olisi voinut olla mahdollista.

Viva3:n kohdalla esimerkiksi tehtiin ratkaisu Marsalkka Mannerheimin vaunun sisäseinien suhteen: Tapettien kulumat ja painaumat eivät ole oleellista dataa, mutta tapetin tekstuuri sen sijaan on. Toisaalta samassa kohteessa esineistö taltioitiin huomattavasti yksityiskohtaisemmin ja oli näin ollen prioriteetiltaan korkeammalla. Prioriteetti sanelee siis digitoinnin yksityiskohtaisuuden. Priorisointitapa ja tieto on sisällytettävä mallidataan esimerkiksi metatietona, jotta dokumentaatio voidaan arvioida. Kohteista on oltava kuvaus sen mukaan millä tarkkuudella tieto on taltioitu ja onko pintatekstuuri tuotettu ja sijoitettu todellisten pintojen mukaan.

Priorisointi on jatkon kannalta tärkeä vaihe ja tähän on syytä käyttää riittävästi resursseja. Tähän vaiheeseen tulisi osallistua teknisten asiantuntijoiden lisäksi sellaisia henkilöitä, jotka tuntevat kohteen kulttuurihistoriallisesta näkökulmasta ja osaavat arvioida kohteen ja sen osien painoarvoja dokumentoinnin kannalta.

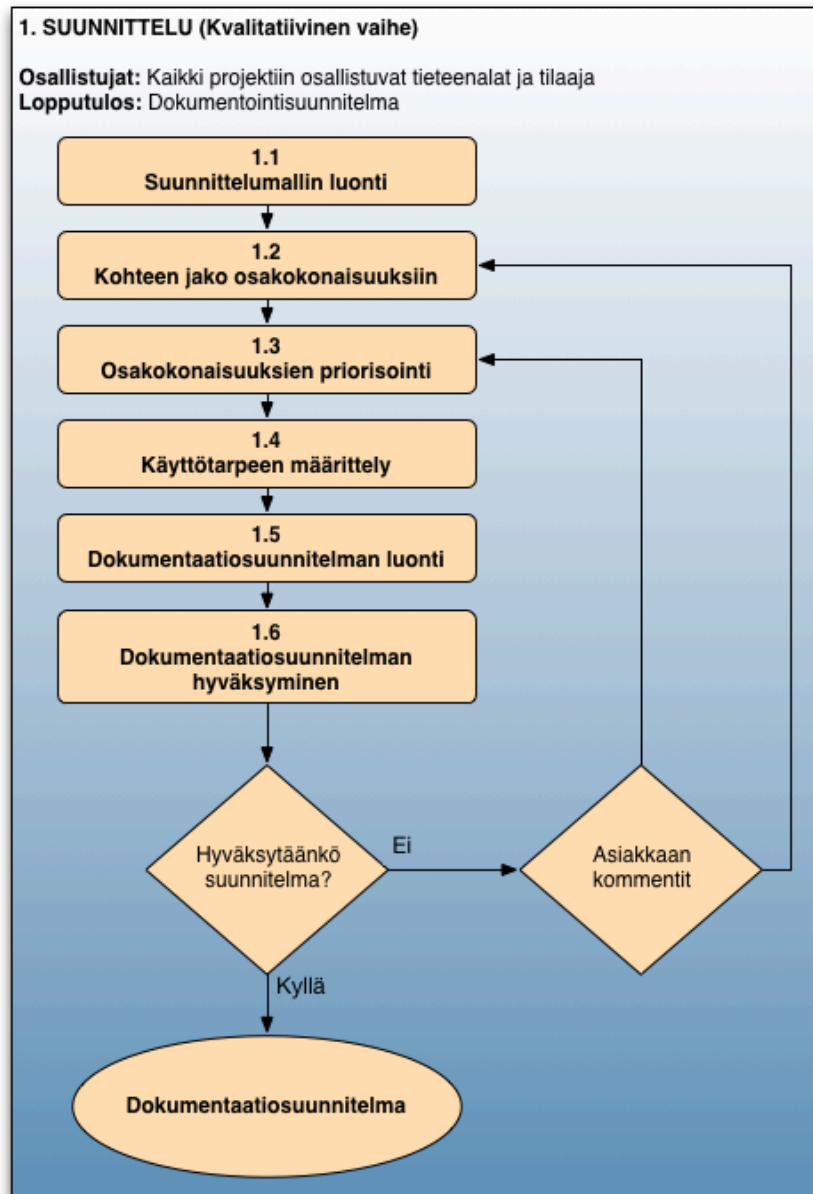
Vaiheessa 1.4 määritellään mallin mahdollinen käyttötarve. Priorisoinnin jälkeen voidaan haluttaessa määritellä käyttötarkoitus jo suoraan. Tässä prosessissa käyttötarpeen määrittely vaikuttaa jatkokäsittelyvaiheeseen, mutta digitoinnin ei tulisi olennaisesti käyttökohteen määrittelyn seurauksena olennaisesti muuttua, sillä arkistointivaihe tulisi aina suorittaa samalla tavalla. Tilaaja määrittelee käyttötarpeen, mutta aina on syytä

painottaa arkistointikäyttötarpeen tärkeyttä. Käyttötarve voidaan myös jättää määrittelemättä erikseen, jolloin tiedonkeruu tehdään lähtökohtaisesti arkistointitarkoituksiin.

Vaiheessa 1.5 luodaan dokumentointisuunnitelma edellisten vaiheiden pohjalta. Suunnitelma liitetään kohteen muuhun dokumentointisuunnitelmaan jos muuta dokumentointia yhtäaikaaisesti tehdään. Muu dokumentointi on myös huomioitava suunnitelmassa, sillä se voi vaikuttaa kolmiulotteiseen tiedonkeruuseen. Dokumentointisuunnitelmaan kirjataan priorisoinnit ja priorisointien kuvaukset, joiden tulee seurata mallia pitkäaikaissäilytyksen metadataan.

Vaiheessa 1.6 hyväksytetään dokumentointisuunnitelma tilaajalla. Mikäli dokumentointisuunnitelmaa ei hyväksytä, pyydetään siihen tilaajalta kommentteja. Kommenteista riippuen palataan joko vaiheeseen 1.2 tai 1.3., josta prosessi jatkuu uudelleen eteenpäin.

Vaiheen 1 lopputuloksena tulee syntyä lukkoon lyöty dokumentointisuunnitelma, joka paneutuu kohteen kulttuurihistoriallisiin merkityksiin eikä vielä puutu teknisiin ratkaisuihin tarkemmin. Näitä asioita käsitellään vaiheessa kaksi, eikä vaiheeseen kaksi siirtymisen jälkeen tulisi palata vaiheeseen yksi. Kuvan 4 prosessikaaviossa esitetään suunnitteluvaiheen kulku.



Kuva 4. Suunnitteluvaiheen prosessikaavio.

6.3.2 Vaihe 2: Tiedonkeruu (Kvantitatiivinen vaihe)

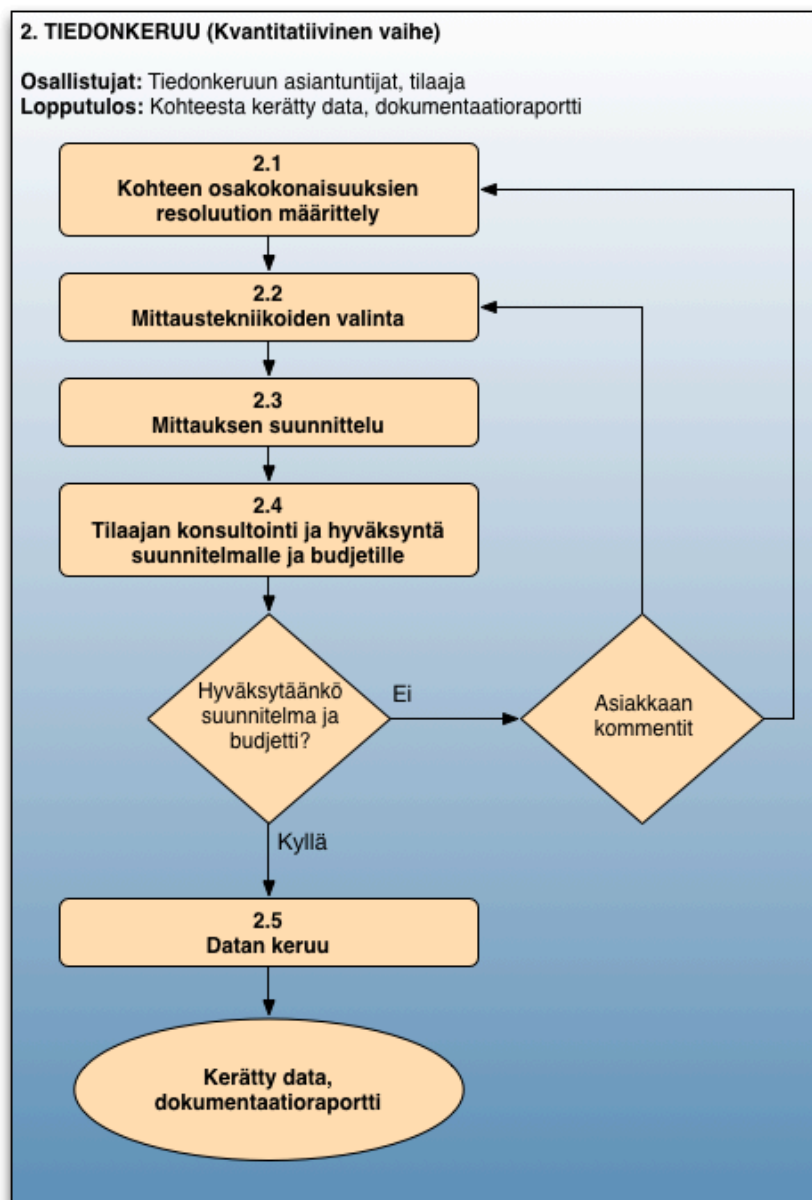
Vaiheessa kaksi suunnitellaan ja toteutetaan tiedonkeruu teknisesti. Määritellään osakokonaisuuksien tarkkuus, joiden perusteella valitaan sopivat menetöt ja laitteet mittaukseen. Mittaustyö suunnitellaan ja aikataulutetaan sekä samalla vahvistetaan lopullinen budjetti. Budjetti on toki määriteltävä jo projektin alkuvaiheessa jollakin tasolla, tämä tarkentava vaihe. Budjetti voi myös vaikuttaa mittaustekniikoiden valintaan

merkittävästi. Vaiheen kaksi toteuttavat tiedonkeruuseen perehtyneet tekniset henkilöt. Jos toteutustavaksi on valittu fotogrammetrinen dokumentointi, tiedonkeruuta voivat tehdä myös siihen koulutetut muiden alojen henkilöt. Pääasiallisina osallistujina toisessa vaiheessa ovat tiedonkeruun asiantuntijat ja vaiheessa 2.4 tilaaja.

Vaiheessa 2.1 määritellään priorisoinnin perusteella osakokonaisuuksien resoluutiot eli tarkkuustasot joilla kussakin osassa halutaan digitointi toteuttaa. Priorisoinnin ja määrittelyn loppukäytön (arkistointi, jos muuta ei ole määritelty) perusteella pohditaan millä tarkkuustasolla saadaan riittävästi tietoa. Vaiheessa 2.2 valitaan mittaustekniikat. Tekniikat valitaan resoluution perusteella huomioiden kohteen ja kohteen ympäristön asettamat vaatimukset. Vaiheessa 2.3 tehdään lopullinen dokumentointisuunnitelma aikatauluineen, kuljetussuunnitelmineen ja kustannuksineen. Suunnitelman luominen edellä tehtyjen ratkaisujen perusteella on nopeaa, mutta tarkkuuksien ja sopivien tekniikoiden löytäminen voi viedä aikaa. Myös laitteiden tai kohteiden saatavuus voi osoittautua hankalaksi.

Vaiheessa 2.4 tämä suunnitelma budjetiteineen hyväksytetään tilaajalla. Mikäli tilaaja ei hyväksy suunnitelmaa, pyydetään jälleen kommentteja ja palataan edeltäviin vaiheisiin 2.1 tai 2.2, mutta ei kuitenkaan vaiheeseen 1. Asiakkaan kommentit liittyvät todennäköisimmin kustannuksiin tai resoluutiovalintoihin, joten muutokset toteutetaan näissä vaiheissa ja suunnittelu tehdään tämän jälkeen huomioiden muutokset.

Kun teknisesti tarkennettu dokumentaationsuunnitelma on hyväksytty, toteutetaan vaiheessa 2.5 suunnitelman mukainen dokumentointi. Vaiheen 2 lopputuloksena syntyy siis kohteesta kerätty data sekä dokumentointiraportti. Kuvan 5 prosessikaaviossa esitetään tiedonkeruuvaiheen kulku.



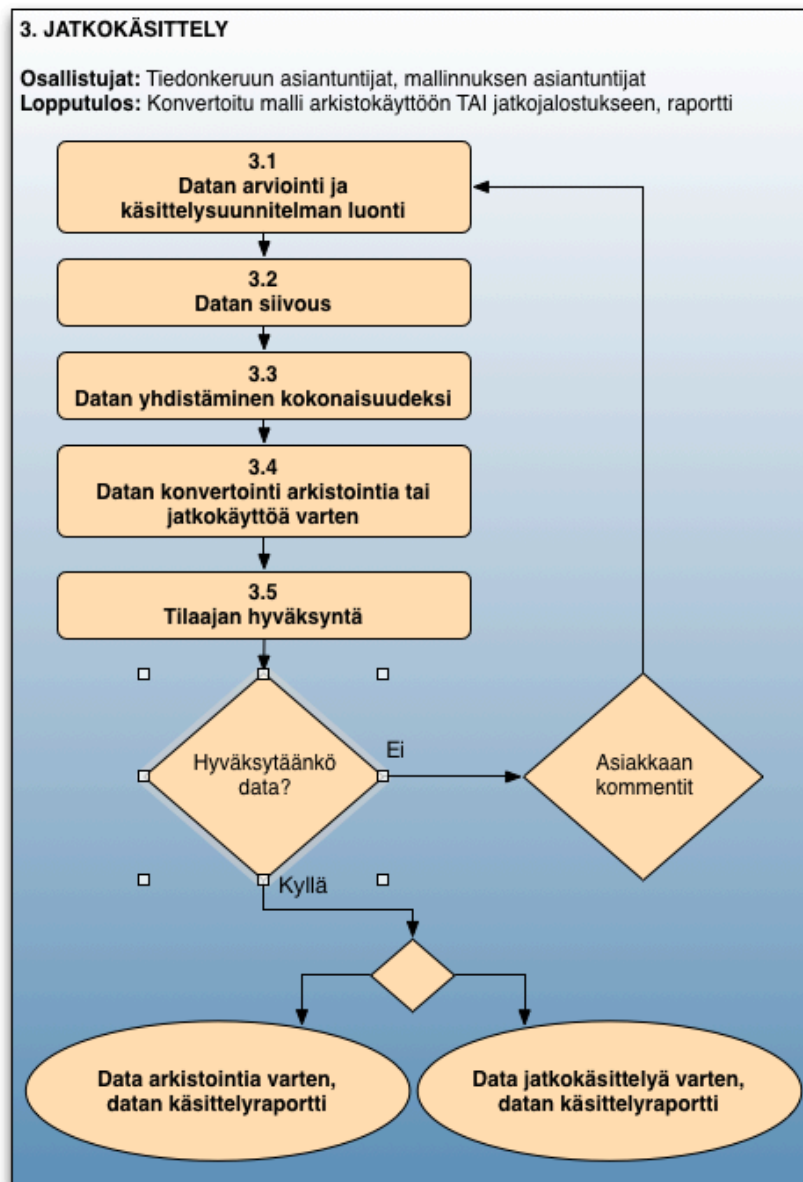
Kuva 5. Tiedonkeruuvaiheen prosessikaavio.

6.3.3 Vaihe 3: Jatkokäsittely

Kolmannen vaiheen tarkoitus on puhdistaa data virrehavainnoista eli siivota data ja yhdistää se kokonaiseksi lopputulokseksi. Data myös konvertoidaan jatkoa varten, joka voi olla joko jokin loppukäyttö, arkistointi tai kumpikin vaihe. Mallin joustavuuden vuoksi mahdollistetaan arkistoinnin jättäminen pois, vaikka arkistovaiheen hylkääminen ei olekaan suotavaa. Kolmannen vaiheen tuloksena voi siis syntyä joko lopullista

käyttötarkoitusta tai arkistointia varten konvertoitu kokonainen malli kerätyn datan pohjalta. Kolmas vaihe voi osoittautua hyvin työlääksi riippuen datasta ja alkuperäisestä kohteesta. Kohteen laajuus vaikuttaa merkittävästi vaiheen kestoon, mutta koska prosessi voidaan ennakoida valittujen tiedonkeruutapojen perusteella, vaiheen kestoa voidaan arvioida jo vaiheen 2 aikana. Datan keruussa voi kuitenkin tulla yllätyksiä, joten tämän vaiheen kustannukset ja kesto arvioidaan vaiheessa 3.1. Vaiheessa työskentelevät sekä tiedonkeruun asiantuntijat että mallinnuksen asiantuntijat.

Vaiheessa 3.2 data siivotaan roskadatasta jota keruuprosessissa väistämättä syntyy, oli kyseessä sitten fotogrammetrian keinoin luotu malli tai laserkeilausdata. Vaiheessa 3.3 Data yhdistetään yhdeksi malliksi ja vaiheessa 3.4 konvertoidaan arkistointia tai jatkokäyttöä varten. Kolmannen vaiheen lopputulos on konvertoitu malli joko arkistokäyttöön tai määriteltyyn loppukäyttöön ja raportti mallin luonnista sisältäen tiedon siitä onko datan kooston kuluessa jouduttu tekemään arviointeja tai lisäämään kerättyyn dataan jotakin. Kuvan 6 prosessikaaviossa esitetään jatkokäsittelyvaiheen kulku.



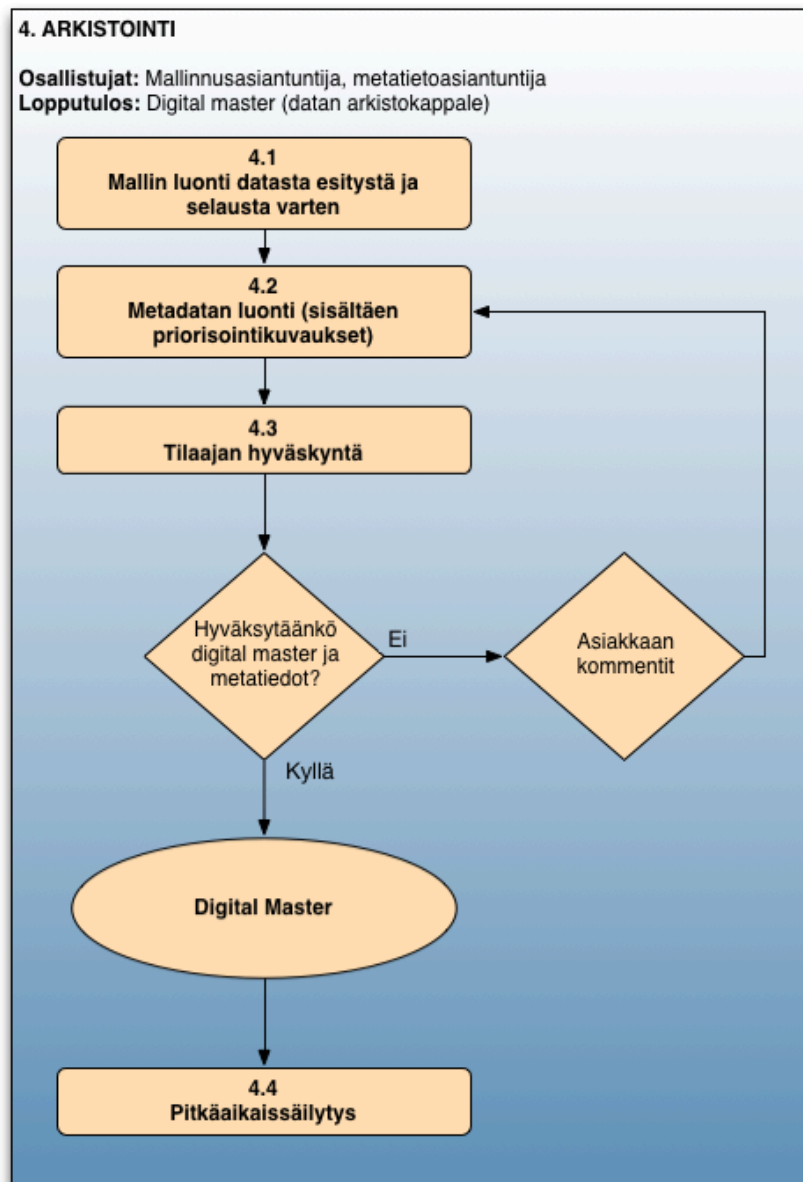
Kuva 6. Jatkokäsittelyvaiheen prosessikaavio.

6.3.4 Vaihe 4: Arkistointi

Arkistointivaihe 4 on periaatteessa vapaaehtoinen, mutta sen poisjättö ei ole suositeltavaa, sillä kerätty data tulisi aina myös valmistella pitkäaikaissäilytykseen. Vaiheessa työskentelevät mallintaja sekä metatietoasiantuntija yhdessä kohteen kulttuurihistoriallisen asiantuntijan kanssa. Myös tilaaja osallistuu hyväksymällä tai hylkäämällä lopputuloksen. Vaiheessa 4.1 luodaan malli, jota käytetään arkistojen selauksessa ja muissa hakemistoesityksissä. Tämä malli voidaan todennäköisesti suoraan viedä valmiista mallista

mallinnusohjelmistojen vientiominaisuuksilla, sillä selausmallin on tarkoitus tarjota esikatselu arkistomallista.

Vaiheessa 4.2 luodaan metadata johon sisällytetään sekä dokumentaatio suunnitelma että priorisointikuvaukset. Tähän dataan on sisällytettävä myös tieto siitä onko jatkokäsittelyvaiheessa jouduttu arvioimaan joitakin asioita kohteesta. Samoin on selvittävä onko mallista jätetty jotakin malliin olennaisesti vaikuttavaa ympäristössä ollutta tekijää pois. Kun metadata on luotu, malli viedään valittuun digitaaliseen arkistoon säilytettäväksi vaiheessa 4.3. Vaiheen lopputuloksena syntyy arkistoitu kappale, niin sanottu digital master digitoidusta datasta. Kuvan 7 prosessikaaviossa esitetään arkistointivaiheen kulku.



Kuva 7. Arkistointivaiheen prosessikaavio.

6.3.5 Vaihe 5: Jatkojalostus

Viidennessä vaiheessa jalostetaan vaiheessa 3 tai 4 syntynyt koostettu data loppukäyttöön. Malli konvertoidaan sopivaan muotoon ja luodaan mallin hyödyntämiseen tarvittavat ympäristöt. Lopputuloksena syntyy käyttötarkoituksen mukainen sovellus mallista. Vaiheessa työskentelevät mallintajat ja sovellusasiantuntijat sekä tilaaja, joka hyväksyy lopputuloksen.

7 POHDINTA JA TULEVAISUUS

Tutkimuksessa saatiin hyvää tietoa millainen prosessin tulisi olla ja myös viitteitä siitä miten kustannuksia voidaan pienentää. Tarkemman lopputuloksen varmistamiseksi tarvetta olisi kuitenkin ollut tarkemman kustannus- ja projektiseurannan toteuttamiseksi myös tässä tutkimuksessa jotta tulokset olisi voitu konkretisoida. Tuloksena syntyy joka tapauksessa prosessimalli, jonka pohjalta digitointiprojekteja voidaan suunnitella tehokkaammin kuin Viva3:ssa kohteiden osalta tehtiin. Viva3:ssa ei kuitenkaan tähdätty tehokkaaseen digitointiin, vaan tarkoituskin oli nimenomaan lähestyä kohteita testauksen ja tutkimuksen kautta. Tässä projektin kohdalla onnistuttiin hyvin.

Viva3-projektissa saatujen kokemusten ja kirjallisuustutkimuksen perusteella voidaan päätellä, että jos kohteen kolmiulotteiseen dokumentointiin ei ole olemassa valmista käytännön tarvetta johon dokumentointi suunnataan, kolmiulotteisen dokumentoinnin olisi kustannussyistä luonnistuttava helposti muiden dokumentaatiokäytäntöjen yhteydessä. Muutoin kustannukset laitteiden ja työajan osalta nousevat merkittävästi. Toisaalta taas tulee olla mahdollisuus tehdä tarkempaakin dokumentointia erikoistuneempiin käyttötarkoituksiin. Yleisluontoisen dokumentoinnin olisi hyvä palvella tätä päämäärää mahdollisimman hyvin. Kysyntää kulttuuriperintökohteiden kolmiulotteiselle digitoinnille selkeästi on olemassa, mutta esteeksi muodostuvat usein kustannukset, kun kohteita on paljon ja niitä on priorisoitava. Kolmiulotteista digitointia tehdäänkin paljon, mutta tällöin tekniikka on useimmiten valittu aina tiettyä lopullista käyttötarkoitusta silmälläpitäen. Prosessimallin tarkoituksena on tarjota työkalu yleisluontoisen dokumentoinnin toteuttamiseksi kolmiulotteisesti siten, että myös yleisimpiä tarkemmin määriteltyjä käyttötarkoituksia huomioidaan. Kehitetty malli hyödyntää kirjallisuustutkimuksessa esille tulleita hyviä käytäntöjä digitointiprojektin suunnittelussa ja pyrkii noudattamaan niitä.

Tutkimuskysymykseen saatiin vastaus sen osalta, millainen prosessin tulisi olla. Kustannusten suhteen täydellistä vastausta ei saatu. Prosessimallin vaikutuksista kustannuksiin ei voida olla varmoja ennen kuin mallia on käytännössä kokeiltu. Prosessimalli joka tapauksessa auttaa suunnitelman tekemisessä ja selkiyttää prosessia,

millä on todennäköisesti kustannuksia pienentävä vaikutus. Tärkeätä on myös se, että mallin avulla kustannukset voidaan tehdä läpinäkyviksi asiakkaalle. Myös kustannusten arviointi on helpompaa.

Tulevissa projekteissa tätä raamia on hyvä soveltaa, mutta samalla tulee seurata tarkemmin projektin toteutumista, jotta raamin toiminta ja sen tarjoamat parannukset kustannussäästöinä voidaan todentaa.

Kolmiulotteinen digitointi on vasta ottamassa ensimmäisiä askeleitaan ja menetelmien kehitys on voimakkaasti kasvussa. Toistaiseksi suurin osa tutkimuksesta keskittyy yksittäisiin kohteisiin ja teknologioihin, massadigitointia ei vielä varsinaisesti tehdä. Ne, jotka pyrkivät suuressa määrässä tuottamaan kohteista digitaalisia malleja, suhtautuvat kohteisiin yksittäisinä projekteina. Kirjallisuustutkimuksen perusteella positiivista tämänhetkisessä tilanteessa ovat tarjotut arkistointimenetelmät ja suunnitelmat, jotka kertovat siitä, että kolmiulotteisen digitoinnin tarve on kulttuurihistorian tutkimuksessa huomioitu. Ongelma on edelleen rahoitus. Tällä prosessimallilla pyrittiin osaltaan helpottamaan nimenomaan kustannusten arviointia rahoituksen määrän ja rahan käyttötarkoituksen selvittämistä ajatellen, jotta kustannukset voitaisiin perustella. Suunnitelmallisella toiminnalla digitointi todella onkin kustannustehokasta, kun oikeita menetelmiä ja teknologioita käytetään oikein.

Valokuvaamalla digitointi on menetelmänä yksinkertainen ja suhteellisen helposti koulutettavissa. Tulevaisuudessa ohjelmistot tulevat luultavasti kehittymään siten, että ne ovat käyttöliittymältään yksinkertaisempia ja kykenevät tuottamaan tarkempaa dataa valokuvien perusteella tekstuurit mukaan lukien. Tämä onnistuu jo nyt, mutta tuloksissa ja käytettävyydessä on vielä parannettavaa ja jälkityöstöä tullaan tarvitsemaan. Suuressa mittakaavassa kolmiulotteinen digitointi tulee lyömään läpi, kun tutkijan työprosessiin voidaan helposti istuttaa työprosessi, jossa hän valokuvaa kohteen selkeiden käytäntöjen mukaisesti, vie kuvat kuvamallinnusohjelmaan ja kuvamallinnusohjelma muodostaa kolmiulotteisen kuvan valokuvien perusteella ilman, että kuvia tarvitsee sijoitella ja korjailla suuressa määrin. Työ on tehtävä riittävän vaivattomasti, jotta kohdetta kohti ei tarvitse käyttää työtunteja juuri tavanomaista dokumentointia enempää.

8 YHTEENVETO

Tutkimuksessa käytiin läpi artikkelilähteitä tehdyistä kolmiulotteisen digitoinnin artikkeleista sekä niissä löytyneistä hyvistä käytännöistä. Näitä käytäntöjä koottiin yhdeksi prosessiksi, jota muokattiin Viva3-hankkeen tapauksista saatujen kokemusten perusteella.

Kirjallisuustutkimuksessa kävi ilmi, että dokumentointia on mahdollista suorittaa monella tasolla riippuen yksityiskohtaisuudesta, mutta yhtenäistä kaikille projekteille oli ennakkosuunnittelun tärkeys ja kulttuurihistorian tutkijoiden ja kulttuurin tuntijoiden hyödyntäminen digitoinnin suunnittelussa. Heidän avullaan on mahdollista määritellä mitä itse asiassa tulee digitoida. Alun suunnittelussa teknisillä toteuttajilla on lähinnä neuvonantajan rooli kun kerrotaan kulttuurihistorian asiantuntijoille mikä on mahdollista ja mikä ei.

Ennakkosuunnittelun tärkeys vahvistui tapauksissa. Mikäli hankalasti saavutettavassa kohteessa jotain jäi digitoimatta, se oli arvioitava. Olennaista on myös, että arviointeja tarvitsi tehdä tärkeissäkin kohteissa, vaikka alkuun jokin kohde ei vaikuttanut kovin olennaiselta. Vaunun tapauksessa esimerkiksi visualisoinnin kannalta ei tuntunut oleelliselta että kaikki yksityiskohdat ovat kohdallaan, eikä näin myöskään ollut. Kuitenkin joidenkin yksityiskohtien tuli olla kunnossa. Ongelmaksi tuli, että ei oltu määritelty mitkä ovat tärkeitä yksityiskohtia ja mitkä eivät. Tässä kohdassa mallin tarjoama runkosuunnitelma olisi ollut erityisen tarpeellinen vaikka kyseessä olikin karkeahko visuaalinen lopputuote. Ennakkosuunnittelun tärkeys huomattiin myös kustannuksissa.

Kustannusten suhteen yllätti, että kolmiulotteinen digitointi on käytännössä mahdollista pelkästään valokuvaamalla kohteet kunhan tämä työ tehdään oikein. Tutkimuksen perusteella kolmiulotteiseen massadigitointiin tämä olisi kustannustehokkain vaihtoehto, mahdollistaen samalla lähtömateriaalin arkistoinnin ilman mallia ja eritasoisten mallien luonnin jälkikäteen.

LÄHTEET

Achille, C., Brumana, R., Fassi, F., Fregonese, L., Monti, C., Taffurelli, L., Vio, E. 2007. Transportable 3D Acquisition Systems for Cultural Heritage. Reverse Engineering and Rapid Prototyping of the Bronze Lions of the Saint Isidoro Chapel in the Basilica of San Marco in Venice. XXI International CIPA Symposium, 1.-6. lokakuuta 2007, Ateena, Kreikka.

Addison, A.C., Gaiani M. Virtualized Architechtural heritage: New Tools and Techniques. Multimedia, IEEE, may-june 2000. Volume 7. Issue 2. Sivut 26-31.

Andres, A., Pozuelo, F., Marimón, J., de Mesa Gisbert, A. 2011. Generation of Virtual Models of Cultural Heritage. Journal of Cultural Heritage. Artikkelin painossa, saatavilla verkossa 20.7.2011. Viitattu 6.11.2011. Elsevier ScienceDirect.

Arias, P., Herráez, P., Lorenzo, H., Ordóñez C. 2005. Control of Structural Problems in Cultural Heritage Monuments Using Close-Range Photogrammetry And Computer Methods. Computers and Structures 83 (2005). Sivut 1754-1766.

Bernardini, F., Rushmeier H. 2002. The 3D Model Acquisition Pipeline. Computer Graphics Forum. Volume 21 (2002). Issue 2. Sivut 149-172. IBM Thomas J. Watson Reseach Center, New York.

Boehler, W. Heinz, G. 1999. Documentation, Surveying, Photogrammetry. CIPA Working Group VI. Verkkojulkaisu. Viitattu 20.8.2011. <http://www.i3mainz.fh-mainz.de/publicat/cipa99/cipa99.pdf>

Boehler, W., Marbs, A. 2004. 3D Scanning and Photogrammetry for Heritage Recording: A Comparison. Proceedings for 12th International Conference on Geoinformatics – Geospatial Information Research: Bridging the Pacific and Atlantic. University of Gävle, Ruotsi, 7.-9. kesäkuuta 2004.

Boehler, W., Marbs, A. 2002. 3D Scanning Instruments. Proceedings of the CIPA WG 2002.

Chen, W., Bouguet, J., Chu, M., Grzeszczuk, R. 2002. Light Field Mapping: Efficient Representation and Hardware Rendering of Surface Light Fields. ACM SIGGRAPH 2002 conference proceedings. Henry B. Gonzales Conference Center. 21.-26. heinäkuuta 2002, San Antonio, Texas, Yhdysvallat.

Coyle, K. 2006. Mass Digitization of Books. The Journal of Academic Librarianship. Volume 32. Issue 6. November 2006. Sivut 641-645.

CyARK, 2011. Verkkosivu. Viitattu 20.8.2011. <http://archive.cyark.org/>

D'Ayala, D. and Smars, P. 2003. Minimum requirement for metric use of non-metric photographic documentation. University of Bath Report. <http://www.english-heritage.org.uk/publications/metric-use-of-non-metric-photographic-documentation/>. Verkkajulkaisu. Viitattu 15.5.2011.

Devebec, P.E., Taylor, C. J., Malik, J. 1996. Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A hybrid geometry- and image-based approach. SIGGRAPH '96 Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques. 4.-9. elokuuta 1996, University of California, Berkeley, Yhdysvallat. ISBN: 0-89791-746-4.

El-Hakim, S., Bernaldin, J.-A. 2002. Detailed 3D Reconstructions of Monuments Using Multiple Techniques. Proceedings of the International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording - Complementing or Replacing Photogrammetry. 1.-2. syyskuuta 2002. Sivut 58-64.

Lagerqvist, B. 1996. A System Approach To Conservation And Cultural Resources Management. Göteborg Studies in Conservation, 4. Acta Universitatis Gothoburgensis.

Novello, G., Marchis, E. 2011. 3D Models for the Restoration Project: Some Issues and a Case Study. Proceedings of the 4th ISPRS International Workshop, 2.-5. maaliskuuta 2011, Trento, Italia. Volume XXXVIII-5/W16. ISSN: 1682-1777.

Patias, P. 2006. Cultural Heritage Documentation. The Aristotle University of Thessaloniki, International Summer School "Digital Recording and 3D Modeling". 24.-29. huhtikuuta 2006. Aghios Nikolaos, Kreetta, Kreikka.

Pavlidis, G. Koutsoudis, A., Arnaoutoglou, F., Tsioukas, V., Chamzas, V. 2007. Methods for 3D digitization of Cultural Heritage. Journal of Cultural Heritage 8. Issue 1. Sivut 93-98.

Pieraccini, M., Guidi, G., Atzeni, C. 2001. 3D digitizing of cultural heritage. Journal of Cultural Heritage. Issue 2 (2001). Sivut 63-70.

Puhakka, A. 2008. 3D-grafiikka. Helsinki: Talentum Media, Esa Print Oy 2008. 453 s. ISBN 978-952-14-1192-2.

The Virtual Hampson Museum. Center for Advanced Spatial Technologies. <http://hampson.cast.uark.edu/> Verkkosivu. Viitattu 6.11.2011.

Weyrich, T. Pauly, M. Keiser, R. Heinzle, S., Scandella, S., Gross, M. 2004. Post-processing of Scanned 3D Surface Data. Eurographics Symposium on Point-Based Graphics. 2.-4. kesäkuuta 2004, Department of Computer Science, ETH Zürich, Sveitsi.

Yastikli, N., 2007. Documentation of Cultural Heritage Using Digital Photogrammetry and Laser Scanning. Journal of Cultural Heritage. Issue 8 (2007). Sivut 423-427.