

**VANHOJEN KAIVAUSVALOKUVIEN  
UUELLEENHYÖDYNTÄMINEN ARKEOLOGIASSA  
– 3D-MALLIT JA NIIDEN ANALYYSI**

**Pauli Haapakangas**



Oulun yliopisto

Humanistinen tiedekunta

Arkeologian pro gradu -tutkielma

29.4.2016

Ohjaaja: Janne Ikäheimo

JOHDANTO.....	3
1. ARKEOLOGIA KUVIEN PARISSA .....	12
1.1. Fotogrammetria ja ortovalokuvaus.....	12
1.2. Valokuvat ja kaukokartoitus arkeologiassa .....	14
1.3. Tietokoneohjelmat ja algoritmit .....	16
2. AINEISTO .....	19
2.1. Diakuva-aineisto.....	19
2.2. Kohteet .....	21
2.2.1. Keminmaa, Valmarinniemi [241010037].....	21
2.2.2. Muhos, Laitasaari, Palokangas [494010085] .....	22
2.2.3. Keminmaan Haapamaan Röykkiö [241010049] .....	23
2.2.4. Keminmaan Kiimamaan röykkiö [241010023].....	24
3. MALLINLUOMISPROSESSI JA PINTAMALLIEN TARKASTELU .....	25
3.1. Mallinluomisprosessi Photoscan-ohjelmassa .....	25
3.2. Kohteiden ominaisuuksista .....	27
3.3. Kuvien rajaus masking-toiminnolla .....	29
3.4. Pintamallin skaalaaminen mittakaavaan .....	31
3.5. Valon ja varjon tuottamat häiriöt .....	33
3.6. Aukot mallissa ja tekstuurin ongelma .....	36
3.7. Geometrisesti epäonnistuneet ja epärealistiset mallit.....	40
4. 3D-MALLIEN HYÖDYNTÄMINEN JA TULKINTA .....	43
4.1. Syvyyden hahmottaminen .....	43
4.2. Mittaaminen .....	48
4.3. Visuaalinen esittäminen .....	49
4.4. Ortokuvan tekeminen .....	52
5. POHDINTAA.....	54
5.1. Mallinnukseen sopivia arkeologisia kohteita .....	55
5.2. Yleisiä ohjeita mallintamiseen soveltuvien valokuvien ottamiseksi.....	57
5.3. Valokuvien ja mallien kritiikki .....	60
6. LOPPUSANAT .....	62
BIBLIOGRAFIA.....	65
LIITTEET	

## JOHDANTO

Arkeologeille valokuvat ovat pitkään olleet eräs keskeinen dokumentointimuoto. Valokuvaamiseen liittyvää kehitystyötä tehtiin jo ennen 1800-lukua, mutta suuri osa valokuvauksen tärkeimmistä keksinnöistä tehtiin kuitenkin 1800-luvun aikana.<sup>1</sup> British Museumin antiikintutkijoiden parissa valokuvien käyttö alkoi jo 1800-luvun puolivälissä, ensin erilaisten käsikirjoitusten, kaiverrusten ja rintakuvien valokuvaamisella. Valokuvaamista käytettiin samoihin aikoihin myös Ranskassa, jossa suurempi rahoitus mahdollisti monumenttien ja muinaisjäännösalueiden paremman ja järjestäytyneemmän dokumentoinnin.<sup>2</sup> Vain hieman myöhemmin valokuvia alettiin ottaa arkeologisilla kaivauksilla. Yksi varhaisimmista kohteista oli ranskalaisen Mosulin kaupungin konsulina toimineen V. Placen kaivaukset Assyriassa vuosina 1852–1855. Valokuvaus oli vakiintunut menetelmä arkeologiassa jo 1800- ja 1900-lukujen vaihteessa. Tuohon mennessä oli otettu valokuvia muinaisista kulttuurikohteista jopa ilmasta käsin ilmapallojen avulla, mutta ilmakuvien merkitys alkoi kasvaa vasta ensimmäisen maailmansodan aikoihin.

Eurooppalaisessa muinaismuistodokumentoinnissa juuri historiallisten kohteiden massiivisuus oli ehkä eräs tekijöistä, joka edisti valokuvausdokumentoinnin kasvua. Amerikan pohjoisosissa kohteet olivat taas pääsääntöisesti pienempikokoisia, ja siellä valokuvaus alkoi kasvattaa suosiotaan dokumentointimenetelmänä hieman Eurooppaa myöhemmin.<sup>3</sup> Oli ehkä huomattu, että mittavista muinaismuistoista tehdyt piirrokset ja sanallinen kuvailu eivät esittäneet riittävän tarkasti kohteiden esteettisiä tai muita näkyviä ominaisuuksia. Piirtäminen saattoi myös yksinkertaisesti olla liian hidas keino tallentamaan kaikkea tarvittavaa informaatiota suurilta alueilta. Oli syy mikä tahansa, jo tuolloin alkoi herätä ajatuksia siitä, miten arkeologisilla kaivauksilla otettujen valokuvien tulisi tallentaa kaikki tiedot kaivauksista ja niiden etenemisestä, tarkkaan kaivettujen ja hyvin puhdistettujen tasojen kautta. Vaikka täydellisyyden ihannetta tuskin tullaan saavuttamaan, on idean tavoittelulla ollut vaikutuksensa arkeologiseen valokuvaamiseen myös tämän päivän valokuvadokumentoinnissa.<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> Osterman 2007: 27.

<sup>2</sup> Dorrell 1989: 1–3.

<sup>3</sup> Dorrell: 1989: 1–7.

<sup>4</sup> Dorrell 1989: 7.

Lähtökohtaisesti valokuvia on kertynyt vuosikymmenten saatossa miljoonia kappaleita moniin eri arkistoihin.<sup>5</sup> Tällaisia ovat esimerkiksi museoiden arkistot, Museoviraston Kuvakokoelmat, yliopistoille arkistoidut kuvat, kirjastojen kuvakokoelmat, mutta myös yksityiset arkistot, kuten poliittiset arkistot. Esimerkiksi vasemmistolaiseen sosiaali- ja kulttuurihistoriaan liittyviä kuvia tallentaa Kansan Arkisto, jonne on kerätty kaikenlaista arkistoaineistoa 1780-luvun lopusta tähän päivään.<sup>6</sup>

Valokuvaustekniikan viimeisimmän vaiheen myötä esiin ovat astuneet digitaaliset tallennusformaattit, jotka ovat mahdollistaneet niin valokuvien, kuin muunkinlaisen informaation siirtämisen digitaaliseen muotoon. 1970-luvulla alkaneen nk. tietokoneajan, digitaalisen ajan tai informaatioajan läpilyöntien myötä tietokoneiden mukaantulo valokuvaamiseen ja arkeologiaan on ollut väistämätöntä. Arkeologian tutkimusalalla on alettu hyödyntää 3D-kartoittamista ja -mallintamista, joissa kohteesta luodaan kolmiulotteinen kuva tietokoneelle. On olemassa useita menetelmiä, joilla voidaan luoda tietokoneelle kolmiulotteinen pistepilvimalli (Kuva 1)<sup>7</sup>, usein tämä tapahtuu käyttäen ns. aktiivisia sensoreita<sup>8</sup>, kuten laserkeilainta ja erilaisia 3D-skannereita. Aktiiviset sensorit, heijastavat esineeseen valoa, ja mittaavat ajan, joka valolla kului matkalla kohteesta sensoriin. Lisäksi laitteet sisältävät sisäisen orientoinnin mittaavia laitteita, joilla kolmiulotteisuus saadaan mukaan etäisyysmittauksiin. Näin tietokoneelle muodostuu kolmiulotteinen malli niistä pisteistä, joissa valo heijastui takaisin kohteen pinnasta. Menetelmät ovat tarkkoja ja ne ovatkin jo osa tieteellisiä projekteja LiDaR-kartoittimien<sup>9</sup> ja takymetriä keräävän datan ohella. Menetelmä on kuitenkin kallis, sillä menetelmän tarkkuuteen tarvitaan teknisesti kehittyneitä laitteita.

---

<sup>5</sup> Lybeck et al 2006: 114–115.

<sup>6</sup> Lybeck et al 2006: 184.

<sup>7</sup> Pistepilvimalli on kolmiulotteisista paikkatietopisteistä, ja Photoscan-ohjelmalla tuotettuna lisäksi valokuvien väriarvoista koostuva malli, joista voi hahmottaa pinnanmuotoja.

<sup>8</sup> Lasaponara & Masini 2013: 9. Fig 1.

<sup>9</sup> Lidar tulee sanoista Light Detection and Ranging. (Remondino & Campana 2014: 25).



Kuva 1. Keminmaa, Valmarinniemi. Hauta 59. Kuvassa hahmottuu noin 63000 suhteellisen paikkatietopisteen ja niihin tallennetun väripigmentin kautta kolmiulotteinen kuva kohteesta.

Arkeologista kenttätutkimusta on myös pyritty tekemään valokuvaan pohjautuvin fotogrammetrisin menetelmin,<sup>10</sup> joissa lyhyesti määriteltynä “käytetään kuvia kohteen mittaamiseen”.<sup>11</sup> Fotogrammetriaan liittyvä arkeologinen tutkimustyö ja kenttätyöt ovat jossakin määrin jo osa tutkimusprojekteja,<sup>12</sup> menetelmällä on yleensä dokumentoitu uusia kaivauksia ja pyritty hyödyntämään kaivausprojektin aikana otettuja kuvia.<sup>13</sup> Tutkielmassani lähdän liikkeelle toista kautta; mielestäni on paikallaan kysyä, voiko menetelmää soveltaa vanhemmilla kaivauksilla otettuihin valokuvaan, joita on otettu ennen digitaalikameran yleistymistä. Ovatko vanhat valokuvat hyödyttömiä tätä tekniikkaa ajatellen?

Tutkielmaani varten kävin läpi Oulun yliopiston kaivauksilla otetut ja digitoidut lähes 30000 diavalokuvaa ja selvittää, mitä on kuvattu ja soveltuvatko kuvatut kohteet

---

<sup>10</sup> Pollyfeus 2001.

<sup>11</sup> Rönnholm 2003: 1.

<sup>12</sup> Koistinen 2000.

<sup>13</sup> Verhoeven, G. 2011; Ratilainen 2012; Howland et al. 2014. Lisäksi Museoviraston Arkeologisten kenttäpalveluiden järjestämät Pietarsaaren torin 26.5.–30.7.2015 arkeologiset kaivaukset sekä Kemin Ajoksen kalkkiuunin tutkimus 21–27.10.2015 ovat projekteja, jossa olin itse mukana kuvaamassa kivirakenteita fotogrammetrialähtöisesti. Tietoa kaivauksista löytyy Museoviraston verkkosivuilta (Museovirasto 2015a).

mallintamiseen, ja lopulta onko mallista jotain hyötyä tutkimukselle tai arkeologiselle esittämiselle? Tutkielmassani painopisteet ovat kenttä- ja jälkitöissä, mutta haluaisin myös tuoda esiin menetelmän hyötyjä arkeologisen tulkinnan apuvälineenä. Mielestäni tietotekniikka on tuonut kaikenlaiseen esittämiseen murroksen, jossa audiovisuaalisuutta tuodaan ympäristöihin, joihin tekniikan ei aina katsota kuuluvan. Tällaisiksi ympäristöiksi katson mm. museot, kirjastot, arkistot ja esitelmät. Esimerkkiaineistoni valinnassa olen lähtenyt liikkeelle Oulun yliopiston arkeologian laboratorioon arkiston määrällisesti suurimmasta valokuvalähdeaineistosta, joka kuvattiin vuonna 1981 Keminmaan Valmarinniemiessä järjestetyillä arkeologisilla kaivauksilla. Valmarinniemen aineistolla suoritettua alustavaa tutkimuksen jälkeen aloin etsiä erityyppisiä kaivauksia ja kohteita, joista katsoin mahdollisiksi luoda 3D-mallin tai -malleja.

Arkeologinen tutkimus on monitieteellistä tutkimusta, jossa tekniikan kehitys tuo niin ajoituksellista tarkkuutta kuin myös mahdollistaa menneisyyden lähdeaineistojen kattavamman hyödyntämisen. Tekniikan kehittyessä arkeologien ei tule jäädä uuden tekniikan mukanaan tuoman innostuksen ulkopuolelle, vaikka tekniikka saatetaan mieltää kalliiksi ja vaikeakäyttöiseksi. Varsinkaan ei tule jättäytyä kokonaan tutustumasta tekniikan tuomiin mahdollisuuksiin. Suomessa fotogrammetrisia menetelmiä onkin alettu hyödyntää arkeologisilla kaivauksilla mm. Museoviraston Arkeologisen kenttäpalveluiden toimesta, vaikka menetelmän hyödyntämistarkoitukset eivät ole vielä täysin selviä.<sup>14</sup> Suomessa ollaan oltu mukana tutkimassa fotogrammetrian erilaisia hyödyntämiskeinoja<sup>15</sup>, mutta 3D-malleja Jordaniassa arkeologisista kohteista tekemään pyrkinyttä Jabal Haroun projektia<sup>16</sup> lukuun ottamatta ulkomaisiin projekteihin ei joko ole aktiivisesti haettu mukaan, tai niihin ei ole ollut resursseja. Toivon mukaan käytännön menetelmien ottaminen mukaan arkeologiseen kenttädokumentointiin tuo näkökulmaa menetelmän käyttöön, sillä ajattelen, että uusien menetelmien hyödyt ja mahdollisuudet ovat usein helpompaa oppia tekemällä ja soveltamalla niitä arkeologisiin töihin.

---

<sup>14</sup> Anttiroiko 2015 [henkilökohtaiset sähköpostiviestit].

<sup>15</sup> Esimerkiksi Lappeenrannan Huhtiniemen kaivauksilla hautoja dokumentoitiin menetelmiä yhdistelemällä. Yksi dokumentointiin käytetyistä menetelmistä oli fotogrammetria, mutta menetelmällä tehdyt luurankojen mallinnukset epäonnistuivat. (Seitsonen & Holappa 2011: 36–47).

<sup>16</sup> “The Finnish Jabal Haroun Project” oli projekti, jonka aikana mm. pyrittiin luomaan 3D -malleja Jordanian arkeologisista kohteista sekä kehittämään fotogrammetrisia dokumentointimenetelmiä arkeologien käyttöön. (Koistinen 2000: 440–445).

Tästä syystä tutkielmani aiheena on arkeologisilla kaivauksilla, perinteisellä filmikameralla otettujen valokuvien avulla tehdyn 3D-mallin luominen ja hyödyntäminen arkeologiassa. Tutkielmaani varten aion käyttää Agisoftin Photoscan-tietokoneohjelmaa<sup>17</sup>. Kohteesta otettujen valokuvien avulla se muodostaa tietokoneelle pisteverkoston, ja lopulta geometrisen mallin, joka tuo visuaaliseen tarkasteluun uusia mahdollisuuksia. Mallia voi hyödyntää muilla tekniikoilla luotujen 3D-mallien tapaan.<sup>18</sup> Yksi pintamallin hyödyistä on niiden käyttäminen ortokuvan<sup>19</sup> tekemiseen. Yritän geometrisesti karttaa muistuttavan ortokuvan tekemistä Agisoft PhotoScan -ohjelmalla, jolla sen tekeminen pitäisi onnistua, mikäli riittävän hyvän pintamallin kohteesta saa aikaan.

Vaikka kolmiulotteisuus on tullut yhä tärkeämmäksi kaikenlaisessa arkeologisessa datan keräämisessä niin arkeologeille kaikenlainen työ, jossa muokataan kolmiulotteinen todellisuus kaksiulotteiseksi tai esitetään se kaksiulotteisin keinoin<sup>20</sup>, on hyvin tärkeä menneitä tapahtumia tulkittaessa. Jos tietokoneohjelman avulla saa luotua kolmiulotteisen mallin, eikö tällöin tavallaan hypättäisi todellista maailmaa vähemmän vastaavan kaksiulotteisen vaiheen yli? On joitain analyttisiä mahdollisuuksia, mitä kolmiulotteiset mallit voisivat tuoda arkeologiseen kenttätööhön. 3D-mallista tilavuuden, pituuden, korkeuden, syvyyden mittaaminen on mahdollista.<sup>21</sup> Jos mallit voitaisiin tuoda osaksi arkeologista perustyötä, ei mallin luominen enää jäisi pelkästään harvan harrastamaksi visuaaliseksi leikkikaluksi, jollaiseksi se saatetaan mieltää. Aikomukseni on lähteä kartoittamaan arkistojen syövereistä käytännöllistä dataa, jota valokuvat voivat tarjota.

Tutkimuksessani aion käytännön kautta selvittää, voiko 3D-mallia luoda vanhoista diakuvista. Viime aikoina julkaistuja tutkimuksia, joissa kohde on kuvattu fotogrammetrian tarkoituksenmukaisuutta silmällä pitäen löytyy, mutta vanhojen arkeologisten kaivausten kuva-aineistoja on hyödynnetty varsin vähän. Doneus, Verhoeven, Fera Briese Kucera ja Neubauer ovat vuonna 2011 julkaistussa, arkeologista kolmiulotteista tutkimusta

---

<sup>17</sup> [Agisoft](#) PhotoScan Professional -ohjelman verkkosivut esittelevät tuotteen ominaisuuksia; ohjelma tarjoaa mm. fotogrammetrista kolmiomittausta, tiheän pistepilvin editoimista ja luokittelua sekä pintamallien viemistä myös muille ohjelmille [Agisoft PhotoScan Professional].

<sup>18</sup> Mallia voi tarkastella eri kuvakulmista ja kääntää tietokoneen näytöllä laserkeilaimen, 3D-skannerin, tai takymetrin mittaamista pisteistä luodun pintamallin tapaan.

<sup>19</sup> Ortokuva on geometrisesti korjattu kaksiulotteinen valokuva, jota voi käyttää kartan tapaan ja esimerkiksi kaivauskarttana. De Reu et al. 2013b: 205.

<sup>20</sup> Esim. tasokartat ja valokuvat ovat ympäröivän maailman dokumentoimista ja sen sisältämän informaation muokkausta yksinkertaisempaan muotoon.

<sup>21</sup> De Reu et al. 2013: 1118.

käsittelevässä artikkelissaan kertoneet, miten he ovat hyödyntäneet noin kymmenen vuotta vanhoja digitaalikameralla otettuja kuvia luodakseen pintamallin ja ortovalokuvan myöhäisneoliittisestä kuopasta.<sup>22</sup> Muut samankaltaiset tutkimukset ovat aika harvinaisia. On myös mahdollista, että vanhoja valokuvia hyödyntäviä tutkimuksia ovat tehneet myös muut, mutta ne ovat jääneet uusien kaivauksien koskevien tapaustutkimusten varjoon. Vähemmistössä kuitenkin vaikuttaisi olevan vanhojen valokuvien hyödyntäminen mallinnuksessa. Syytä tähän en osaa sanoa, mutta mielestäni tähän voi vaikuttaa vanhojen kaivausvalokuvien vaikea saatavuus, mutta todellisia syitä tulisi pohtia. Ehkä ei olla tietoisia siitä mitä kaivauksilla on kuvattu? Eikö ole luotettu valokuvien riittävyyteen, vai ovatko vanhat kohteet vain väistyneet uusien tutkimusintressien tieltä? Pakon edessä on kuitenkin alettu tutkia myös vanhojen valokuvien sisältämää informaatiota. Esimerkiksi Mosul-projektissa, ISIS-järjestön tuhoaman kulttuuriperinnön digitaalinen rekonstruointi pyritään tekemään nimenomaan valokuvista joita on otettu kohteista ennen niiden tuhoa.<sup>23</sup>

Jotta 3D-mallin tekeminen onnistuisi tavallisella kameralla otetuista kuvista, pitää kuvattavasta kohteesta olla useita kuvia, ja kuvissa tulee olla riittävän paljon päällekkäisyyttä. Toisin sanoen, tietokoneohjelman täytyy nähdä eri kuvissa sama kohde, mutta eri tarkastelukulmasta katsottuna.<sup>24</sup> Erilaisia mallintamiskohteita saadakseni otin tutkielmaani mukaan myös Muhoksen Palokankaan rautakautisen maakummun kaivauksilta otettuja valokuvia, sillä sen valokuvamateriaalia poikkeaa Valmarinniemenestä merkittävästi; valokuvaaja ja kuvausympäristö ovat erilaiset ja kuvia on huomattavasti vähemmän. Lisäksi tein malleja eri kaivauksilla kuvatuista yksittäisistä kohteista, joiden katsoin soveltuvan mallintamiseen. Tällaisia ovat esimerkiksi röykkiöt Keminmaan Kiimamaalta ja Keminmaan Haapamaalta.

Mallin valmistamiseen käyttämälläni Agisoft Photoscan -ohjelmalle on tehty ohjeita ja sillä on vaatimuksia, joita noudattamalla kohteesta saa parhaat valokuvat ja lopulta tarkemman mallin.<sup>25</sup> Tämän vuoksi on oletuksena, että samasta kohteesta tulisi olla kuvia eri kulmista ja etäisyyksiltä, jotta 3D-mallin luominen mahdollistuu. Tämä taas herätti

---

<sup>22</sup> Doneus et al. 2011: 81–87.

<sup>23</sup> Project Mosul 2015: Project Mosul pyrkii joukkoittamisen (eng. crowdsourcing) kautta otetuista kuvista tekemään 3D-mallinnoksia jo tuhoutuista museoesineistä, kuten Mosulin leijonasta.

<sup>24</sup> Agisoft 2015: 5.

<sup>25</sup> Agisoft 2015: 4. Ohjelman ohjekirja pitää tärkeänä, että kuvien ottamiseen tarkoitetut ohjeet luetaan ennen kuvien ottamista. Näin ei tietenkään ole ollut mahdollista vanhojen kuvien kohdalla.



tutkimuskysymyksen, aiheutuuko valokuvien laadun ja kuvakulmien vähäisestä variaatiosta mallintekoprosessin kannalta ylitsepääsemättömiä ongelmia. Eli toisin sanoen: montako kuvaa on liian vähän? Mallin luominen tulee jo itsessään olemaan hankalaa, mikäli ohjelma asettaa selkeitä standardeja sille, millaisia kuvia tulee käyttää tuloksen saamiseksi. Agisoftin Photoscan -ohjelma lupaa 3D-mallia satunnaisesti otetuista kuvista, mikäli kohde on näkyvillä vähintään kahdessa kuvassa.<sup>26</sup> Helppokäyttöisyys on tärkeää, mutta mallin täytyy olla myös riittävän tarkka, jotta sitä voisi hyödyntää arkeologiassa.<sup>27</sup> Tutkielmassani hyödynnetyt, Oulun yliopiston arkeologian laboratorion valokuvat on otettu aikoinaan sen hetkisiä kuvausstandardeja silmälläpitäen. Uusissa tutkimuksissa valokuvien suuntauksiin, etäisyyksiin ja valo-olosuhteisiin on usein pystytty vaikuttamaan fotogrammetrialähtöisesti. Tutkielmaani varten halusin lähteä selvittämään, voiko Agisoft Photoscan -ohjelmalla muodostaa 3D-malleja jo kaivetuista kohteista, kohteista jotka on kaivausteknisesti tutkittu ennen kuin tätä tekniikkaa oli vielä saatavilla. Valokuviin pohjautuva mallintamismenetelmä, joka ei perinteisesti ole kuulunut arkeologian erityisosaamiseen voi kuitenkin olla luotettava, sillä itse valokuvauksella on ollut pitkä perinne arkeologien parissa. Ja vaikka tietokoneohjelma vaatii tiettyjä ominaisuuksia, on jo varsin varhaisessa vaiheessa alettu pohtia fotogrammetristen menetelmien hyödyntämistä arkeologiassa<sup>28</sup>. Vanhoja kuvia läpi käymällä saa mielestäni kuvan, että tätä ideaalia on toteutettu myös vanhoilla kaivauksilla.<sup>29</sup> Koska kuvien ottamista mallin rakentamiseksi ei ole suunniteltu etukäteen, on mielestäni toisaalta oletettavaa, että näistä tuotetuissa 3D-mallissa esiintyy vikoja. Jos vanhojen kuvien hyödyntäminen mallinnuksessa kuitenkin onnistuu, pohdin mallien tuomia mahdollisuuksia arkeologiselle mittaamiselle, mutta haluan myös esittää uuden tekniikan käytön myötä esiin nousseita havaintoja.

Yksi hyvä esimerkki mallin hyödyntämisessä voisi olla Helsingin yliopiston arkeologian lehtorin Antti Lahelman eräästä Virolahden röykkiöstä tekemä 3D-malli, jossa röykkiöstä näkyy kehämäisiä rakenteita, joita paikan päällä oli vaikea havaita mahdollisesti

---

<sup>26</sup> Agisoft 2013: V: *“it operates with arbitrary images and is efficient in both controlled and uncontrolled conditions. Photos can be taken from any position, providing that the object to be reconstructed is visible on at least two photos. Both image alignment and 3D model reconstruction are fully automated”*.

<sup>27</sup> Pavlidis et al. 2006: 97. Uusissa tutkimuksissa tekniikan suosimaa valokuvaustapaa on voitu hyödyntää ja malleista on mahdollista rakentaa varsin tarkkoja.

<sup>28</sup> Strong 1973: 276. Archaeological Theory and Practice -kirjassa vuodelta 1973 kerrotaan fotogrammetristen valokuvien 60 % päällekkäisyyden ihanteesta.

<sup>29</sup> Tällaisia piirteitä ovat esimerkiksi lukuisat stereoparikuvat ja kuvakulmien vaihtelu.

röykkiön koon tai maastonmuotojen vuoksi.<sup>30</sup> Osin tästä syystä halusin tehdä myös röykkiöstä mallin ja tarkastella, näkyvätkö mallissa selvästi kehät tai erikokoisten kivien muodostamat rakenteet. Muita hyödyntämiskeinoja ovat mittaukset, profiilien piirrosten tekeminen sekä kaikenlainen visualisointi ja jakaminen muiden tutkittavaksi vaikkapa Sketchfab.com -sivuston<sup>31</sup> kautta.

Tutkimus tuntuu olevan jatkuvassa muutoksessa, sillä eri menetelmiin pohjautuvia 3D-mallintamistekniikoita kehittävät monien kaupallisten tahojen<sup>32</sup> lisäksi esimerkiksi EU:n rahoittamat tiedeprojektit sekä jotkut ulkomaiset yliopistot<sup>33</sup>. Nämä uudet tekniikat usein yhdistelevät jo tunnettuja algoritmeja, yrittäen näin poistaa aiemmin käytetyille tekniikoille ominaisiksi katsottuja ongelmakohtia.<sup>34</sup> Takymetrien avulla tuotetut pisteverkot saattavat jäädä melko usein tutkimusraportteja tehtäessä pieneen osaan. Kolmiulotteisten mallien yleistyvän käytön hidasteena vaikuttaisi olevan se, että niiden tekeminen on koettu vaikeaksi, aikaa vieväksi ja/tai kalliiksi<sup>35</sup>. Vaikka 3D-mallit ovat kaksiulotteisia malleja kuvaavampia, on tutkijan aika rajoitettua eikä mallien luominen saa siksi viedä liikaa aikaa. Agisoftin kehittämä tietokoneohjelma PhotoScan pyrkii olemaan edullinen, nopea ja helppokäyttöinen.<sup>36</sup>

Tutkielmassani lähdän liikkeelle valokuvien ja fotogrammetrian käytöstä kulttuurintutkimuksessa. Esittelen ohjelman, jonka käyttö on alkanut lisääntyä arkeologisessa dokumentoinnissa, sekä niitä algoritmeja ja tieteenalaa, johon ohjelma pohjautuu. Toisessa kappaleessa esittelen hyödyntämäni aineiston. Aineiston esittelyn jälkeen käyn läpi mallinluomisprosessin etenemisen, sekä tarkastelen malleja ja niistä esiin nousseita huomioita pääpiirteittäin. Tämän tarkoitus on helpottaa myöhempää mallinnusprosessia, kun halutaan

---

<sup>30</sup> Debenjak 2014: 17.

<sup>31</sup> Sketchfab.com on verkkosivusto, jonka foorumeilla tutkijat voivat olla mukana kehittämässä mallien luomista ja visualisointia. Sivuille voi ladata tekemiään malleja, ja niitä voi tarkastella verkon kautta myös muilla tietokoneilla.

<sup>32</sup> Mm. Aicon 3D Systems, Creaform, Faro, Smarttech 3D.

<sup>33</sup> Esim. Belgian Ghentin yliopiston arkeologisen laitoksen 3D-mallinnusprojekti. Ks. <http://archaeology3d.org/about/>. Luettu 29.4.2016.

<sup>34</sup> Esim. Agisoftin PhotoScan-ohjelmisto yhdistelee algoritmeja, jotta ihmisen osuus valokuvien liittämässä toisiinsa minimoituisi, mutta antaa tutkijalle kuitenkin mahdollisuuden tarvittaessa vaikuttaa mallinnuksen eri vaiheisiin mahdollistaen nopeuden ja tarkkuuden tasapainon. Hyödynnetyt algoritmit vaikuttaisivat olevan yhtiösalaisuus. <http://www.agisoft.com/forum/index.php?topic=89.0>. Luettu 28.4.2016.

<sup>35</sup> Esim. Koch et al. 2000: 1; Skarlatos et al. 2004:11; Luukkonen 2011: 73.

tehdä 3D-malli kohteista samaa ohjelmaa käyttäen. Ohjelman käytön yleistyessä voi olla hyödyllistä, jos voin tarjota opastusta tai ratkaisuja ongelmakohtiin. Tutkielman tarkoitus ei kuitenkaan ole toimia varsinaisena ohjekirjana, sillä ohjelman oma manuaali vastaa yleisiin kysymyksiin. Koen kuitenkin, että koska ohjelman manuaalia tai ohjelmaa ei ole suunniteltu pelkästään arkeologeille, on hyvä tuoda esiin ohjelman käyttöön liittyviä seikkoja arkeologin näkökulmasta. Haluan löytää ja tuoda esiin niitä ohjelman ominaisuuksia ja potentiaalia, joita arkeologit voisivat omissa tutkimuksissaan hyödyntää. Esittelen Photoscan-ohjelman käytön kohta kohdalta, jotta ohjelman suoraviivaisuus tulee paremmin esiin, ja madaltaa ehkä ohjelman käyttöönoton kynnyistä. Neljännessä kappaleessa pohdin luomieni mallien hyötyjä ja annan ohjeita arkeologisesta perspektiivistä menetelmää varten otettavien valokuvien ottamiseksi. Lopuksi pohdin kriittisesti arkeologiseen valokuvadokumentointiin ja sen hyödyntämiseen liittyviä kysymyksiä.

# 1. ARKEOLOGIA KUVIEN PARISSA

## 1.1. FOTOGRAMMETRIA JA ORTOVALOKUVAUS

Valokuvauksen peruseriaatteet ovat pysyneet melko samanlaisena valokuvaamisen historian ajan, ja hyvin yksinkertaistettuna menetelmä perustuu esineestä tai maisemasta heijastuvan valonsäteiden keräämiseen linssin läpi pisteeseen, johon muodostuu terävä kuva. Tällöin kuvassa näkyvien asioiden mittasuhteet riippuvat niiden etäisyydestä kameraan, eikä kuvissa esiintyvien asioiden todellisia mittasuhteita ole helppo laskea.<sup>37</sup> Materiaali, johon valokuva muodostetaan, on aikojen saatossa vaihdellut, epäkäytännöllisistä, märkinä pidettävistä hopealevyistä bromisiin kuivuuttakin kestäviin tauluihin<sup>38</sup>. Alkuvaiheen kamerat, filmikamerat ja lopulta digitaalikameran mukaantulo, on pienentänyt kameroiden kokoa, ja pienentänyt kuvien arkistoinnin vaatimaa tilaa. Vaikka valokuvaaminen on yleinen dokumentointimuoto arkeologiassa, on valokuvien hyödyntämistä harjoitettu enemmän fotogrammetrian saralla. Fotogrammetria on tieteenala, jossa valokuvista pyritään saamaan selville kohteen mittasuhteet<sup>39</sup>. Toisin sanoen fotogrammetrialla tarkoitetaan kuvien perusteella laskettujen geometrinen ominaisuuksien selvittämisen harjoittamista.<sup>40</sup> Lisäksi fotogrammetrian keinoin pyritään saamaan tarkkoja paikkatietoja pinnan pisteille. Eri keinoilla tuotettuja kuvia käytetään siis kohteen näkyvien ominaisuuksien mittakaavan saamiseksi matemaattiseen muotoon.<sup>41</sup> Fotogrammetrialla ikään kuin muutetaan yksittäisten valokuvien tallentama kaksiulotteinen tieto takaisin kolmiulotteiseksi dataksi käyttämällä useaa valokuvaa yhtä aikaa.<sup>42</sup> Valitsemani menetelmä tulee varmasti vielä kehittymään ja uusia ohjelmia syntyy, mutta jo nykyisten ohjelmien sanotaan haastavan jopa alhaisillakin tarkkuusasetuksilla takymetriä mittatarkkuuden<sup>43</sup>. Tulokset ovat vakuuttavia, sillä tutkijat ovat päässeet kahdella eri laserskannerilla 7-9 millimetrin virhemarginaaliin kahden päivän skannaamisella.<sup>44</sup>

---

<sup>37</sup> Strong 1973: 275.

<sup>38</sup> Dorrell 1989: 1.

<sup>39</sup> Strong 1973: 275–282.

<sup>40</sup> Kjellman 2012: vi.

<sup>41</sup> Rönholm 2003: 10 ja Strong 1973: 275–282.

<sup>42</sup> Remondino & Campana 2014: 63.

<sup>43</sup> Kjellman 2012: 47.

<sup>44</sup> Hermon et al. 2012: 4.

Aalto-yliopistossa kaukokartoitus ja fotogrammetria on oma maankäyttötieteiden laitoksen alainen tieteenalansa. Yliopiston verkkosivuilla kerrotaan fotogrammetrian ja kaukokartoituksesta seuraavaa: *“Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen tutkimuksessa käytetään valokuvia, satelliittikuvia sekä laserkeilausta kohteiden muodon ja ominaisuuksien selvittämiseen ja 3D-mallintamiseen. Menetelmät soveltuvat sekä pienten kohteiden että laajojen alueiden tarkkaan mittaamiseen ja tulkintaan. ”...” Perinteisen kartoituksen lisäksi sovelluksia ovat mm. rakennetun ja luonnonympäristön tilan seurannassa, tulvamallinnuksessa, arkeologisissa kaivauksissa, esineiden dokumentoinnissa, tietokonepeleissä sekä 3D-elokuvien tekemisessä.”*<sup>45</sup>. Tämä kuulostaa lupaavalta, erityisesti esineiden dokumentoinnin ja kaivausten tilan seurannan kannalta. Kiinnostusta lähteä arkeologisesti testaamaan fotogrammetrian tuomia hyötyjä Suomen arkeologiassa ei kovin paljoa kuitenkaan ole ollut.

Nykyään ilmavalokuvaus<sup>46</sup> ja varsinkin niistä luotu ortokuva ovat fotogrammetrian osa-alueita, mihin valokuvaamista voi potentiaalisesti hyödyntää. Laajimmin käytetty fotogrammetrinen tuotos oli ainakin vuonna 2005 ilmakuviasta tehdyt digitaaliset ortokuvat.<sup>47</sup> Ortovalokuvassa (eng. *orthophotograph*), valokuvasta on pyritty poistamaan kameran kallistuksesta ja pinnanmuodoista syntyneet vääristymät. Ortokuva katsotaan hyödylliseksi silloin, kun valokuvamaista tarkastelua tarvitaan, mutta tarkastelun kohde on liian moniulotteinen mitä tulee syvyyden esittämiseen.<sup>48</sup> Digitaaliset ortokuvat jaotellaan maanpintaortokuvaan, jossa on vain maan pintaa kuvaavaa maastomalli DTM<sup>49</sup> sekä tosiortokuvaan, joissa käytetään kohteen todellista pintamallia DSM<sup>50</sup>, joka sisältää myös rakennetut kohteet.<sup>51</sup>

---

<sup>45</sup> Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen oppiaineen verkkosivuilla esitellään oppiainetta ja kerrotaan lyhyesti tieteenalasta, ks. Aalto-yliopisto 2015.

<sup>46</sup> Ilmakuvausella tarkoitan esimerkiksi helikopterilla, lentokoneella, pienoishelikopterilla, satelliittilla, kuumailmapallolla tai vastaavien apuvälineiden avulla ilmasta otettuja kuvia. Lisäksi kameran jatkovarsilla tai valokuvaustorneista ylhäältäpäin otettuja kuvia voi mielestäni pitää verrannollisina ilmavalokuville vaikka toimitaankin pienemmässä mittakaavassa.

<sup>47</sup> FKSRY 2005: 2. Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen seura ry (nykyisin Geodesian ja fotogrammetrian seura ry (GFS) on julkaissut vuonna 2005 suosituksia ortokuvien tuotannolle ja käytännölle Suomessa.

<sup>48</sup> Andrews 2009: 16.

<sup>49</sup> DTM tulee englannin kielen sanoista Digital Terrain Model, ja sillä tarkoitetaan maanpinnan tasosta tehtyä digitaalista pintamallia. Mallista on yleensä pyritty riisumaan puut ja ihmisen tekemät rakenteet, ks. FKSRY 2005: 5.

<sup>50</sup> DSM tulee englannin kielen sanoista Digital Surface Model ja tarkoittaa digitaalista pintamallia, mutta uudempi termi lienee Agisoftin manuaalistikin löytyvä DEM, joka tulee sanoista Digital Elevation Model.

<sup>51</sup> FKSRY 2005: 7–8.

Ilmavalokuvaamiseen vaadittavia välineistöä, kuten lentokonetta tai pienkoptereita, harvoin on käytössä arkeologisilla kaivauksilla. Fotogrammetristen sovellusten kehittymisen myötä, ortokuvia voi luoda myös fotogrammetrian keinoin, ilman ilmasta otettuja valokuvia. Menetelmän kehittymisen myötä on esimerkiksi pyritty dokumentoimaan arkeologisia kaivauksia ortokuvien avulla.<sup>52</sup> Ortokuvan luomiseksi tarvitaan valokuvat, joiden orientaatio<sup>53</sup> on tiedossa, sekä kuvaus kohteen pinnanmuodoista. Tällä tarkoitetaan mitattuja pisteitä, joiden 3D-sijainti on tiedossa, ja ne muodostavat alueesta pintamallin (DSM). Ortovalokuvassa kohteen välimatkoja tarkastellaan ylhäältä katsottuna kuten kartasta.<sup>54</sup> Arkeologien kaivauksillaan ottamista valokuvista saisi tehtyä esimerkiksi pohjakartan.

## 1.2. VALOKUVAT JA KAUKOKARTOITUS ARKEOLOGIASSA

Kolmiulotteiseen mallintamiseen johtaneista tieteen harppauksista ja suunnista on kerrottu Aalto-yliopiston fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laitoksella työskentelevän H. Haggrenin teoksessa *200 vuotta fotogrammetrian ja kaukokartoituksen historiaa*,<sup>55</sup> mutta ilmiötä on sivuttu myös arkeologian saralla. Esimerkiksi Mari Luukkosen vuonna 2011 valmistunut pro-gradu -tutkielma *Tietokoneet ja digitaalinen 3D arkeologiassa* käsitteli kolmiulotteisuuden hyötyjä ja ongelmia. Vuonna 2014 Annukka Debenjak teki arkeologian oppiaineen proseminarityön digitaalisesta fotogrammetriasta<sup>56</sup>, ja Tromssan yliopiston Erik Kjellman on kiinnittänyt huomiota fotogrammetrisen menetelmän nopeuteen ja tarkkuuteen suhteessa takymetriin.<sup>57</sup>

Askel kohti kolmiulotteisempaa tutkimusta oli osittain päällekkäisten valokuvien ottaminen ilmavalokuvattaessa. Tällä keinolla voitiin vähentää yksittäisiin valokuviin tulleita vääristymiä, joita maan kaltevuus, valokuvassa olevat korkeuserot ja kameran kaltevuus tuo valokuviin.<sup>58</sup> Myöhemmin valokuvien syvyysvaikutelmaa alettiin hyödyntää stereoparikuvien avulla, jota arkeologiassa hyödynnettiin erityisesti esinekuvauksessa. Stereoparikuvat ovat

---

<sup>52</sup> De Reu et al. 2013b.

<sup>53</sup> Kameran suuntaus, eli mihin suuntaan kameran objektiivi on kuvaushetkellä osoittanut.

<sup>54</sup> Schenk 2005: 5.

<sup>55</sup> Haggren 2011.

<sup>56</sup> Debenjak 2014.

<sup>57</sup> Kjellman 2012.

<sup>58</sup> Strong 1973: 275–282.

eräs kolmiulotteisuuden vaikutelman säilyttämisen keino, kun kohteesta otetaan yhdellä tai useammalla kameralla samansuuntaisia kuvia, käyttäen tiettyä “silmäväliä”.<sup>59</sup> Menetelmää on Suomessa tehty hieman, mutta kameralaitteiden korkea hinta on vähentänyt innostusta. Alun perin stereokuvien luomisessa tarvittiin kamera, jonka kuvausakselit olivat yhdensuuntaiset ja tarkkaan kohdistettu.<sup>60</sup> Oulussa vuonna 1975 julkaistussa Pentti Koivusen tutkimuksessa *A gilded relief brooch of the migration period from Finnish Lapland* hyödynnettiin stereokuvausta.<sup>61</sup> Kolmiulotteisen kuvan katsottiin ehkä tuovan jotain lisäarvo julkaisuissa yleensä näkyviin tavallisiin valokuviiin verrattuna. Stereokuvaa katsotaan joko siihen tarkoitukseen tehdyllä linssiparilla, tai harjaantuneella katseella.

Viime aikoina on alettu julkaista uutta tutkimusta, joissa ilmakuvia on käytetty myös 3D-mallin tekoon. Esimerkiksi Ghentin yliopiston arkeologian osaston tutkijat Jeroen De Reu ja Wim De Clercq, sekä *Gate Archaeology*<sup>62</sup> -projektin tutkijat Joris Sergeant, Jasper Deconynck ja Pieter Laloo valitsivat kohteet Belgian Berlaressa Uitbergenissa, ja mallinsivat kohteesta 3D-mallin.<sup>63</sup> Myös Matthew Howland, Falko Kuester ja Thomas Levy Kalifornian yliopistosta, San Diegon antropologian osastolta ja Qualcomm Instituutista ovat tehneet tutkimusta Jordanian Wadi Arabahissa, jossa laser-skannauksen ja fotogrammetrian menetelmiä käytettiin rinta rinnan. Menetelmällä saatujen tulosten vertaaminen jäi artikkelissa vähäiseksi, mutta tutkijat totesivat, että PhotoScanin tekemät GIS-pistein kohdennetut mallit ovat tarkkuudeltaan ja virhemarginaaleiltaan arkeologiseen tutkimukseen riittäviä. Howlandin ryhmän kokeessa tehdyt mallit hyödynsivät ilmapallostä otettuja valokuvia.<sup>64</sup> Mitä enemmän kohteessa on pinnanmuodon vaihteluita, sitä useamman kuvan kohteesta tarvitsee.<sup>65</sup> Samat säännöt pätevät ilmakuvauksessa kuin kaivauksilla otetuissa kuvissa; vaihtelu pinnanmuodoissa tarkoittaa, että pitää ottaa valokuvia useammin eri kulmista, jotta katvealueita ei synny.

Suomen arkeologiassa ja rakennustutkimuksessa oli fotogrammetrian hyödyntäminen 1970-luvulla vielä kokeiluasteella. Jonkin verran yhteistyötä Museoviraston ja Teknillisen

---

<sup>59</sup> Purhonen & Söyrinki 1973: 89–95.

<sup>60</sup> Salmenperä 1983: 18.

<sup>61</sup> Koivunen 1975: 4 Fig 1. Stereoparikuvaa artikkelin soljesta voi katsoa laitteella, jolloin se näkyy kolmiulotteisena.

<sup>62</sup> Gate Archaeology 2010.

<sup>63</sup> De Reu et al. 2013b: 205–208.

<sup>64</sup> Howland et al. 2014: 103–107.

<sup>65</sup> Georgopoulos & Ioannidis 2004:11–13.

korkeakoulun fotogrammetrian laitoksen kanssa oli tehty esimerkiksi Porvoon katufasadeja piirrettäessä.<sup>66</sup> Fotogrammetriaa ja stereokuvausta hyödynnettiin jonkin verran myös vedenalaisessa arkeologiassa jo 1970-luvulla, mutta todetaan tuolloin vielä olleen kallista. Samalla menetelmän käytön todettiin kuitenkin tuottaneen hyviä kokemuksia.<sup>67</sup> Ilmeisesti hyvien kokemusten tukemana, tai menetelmän halpenemisen ja tarkentumisen johdosta, vedenalaista fotogrammetrista mallintamista on tehty jälleen, kun menetelmää hyödynnettiin vuonna 2015 Jussarön alueen merenalaisen hylyn 3D-mallin luomiseen. Kulttuuriperinnön tutkimiseksi ja säilyttämiseksi on fotogrammetrisin keinoin dokumentoitu myös kirkkoja, kuten Tyrvään Pyhän Olavin kirkko vuonna 1995<sup>68</sup>. Hämeen linnan rakennusarkeologista tutkimusta tehtäessä fotogrammetriaa hyödynnettiin hyvällä menestyksellä. Kuitenkin ennen 2000-lukua ja eri työvaiheiden digitalisoitumista, fotogrammetria pidettiin rakennusarkeologiassa kalliina, erikoislaitteistoa vaativana menetelmänä, ja sen nähtiin soveltuvan vain suuriin ja mittaviin dokumentointihankkeisiin.<sup>69</sup> Museoviraston verkkosivuilta voi lukea, miten valokuvadokumentoinnin painopiste on ”*rakennusten ja laajasti rakennetun kulttuuriympäristön dokumentoinnissa*”<sup>70</sup>, ei niinkään arkeologisen kenttätutkimuksen parantamisessa. Muutosta ajatteluun on havaittavissa, sillä Museoviraston alaisen yksikön, Arkeologisten kenttäpalveluiden, arkeologit ovat alkaneet hyödyntämään fotogrammetriaa kaivauksilla vuoden 2015 aikana.<sup>71</sup> Menetelmän käyttöä varten on valokuvattu mm. kellareita, uunirakenteita ja puurakenteita. Kaivauksista ja fotogrammetrisen dokumentaation tuloksista ei ole vielä tätä tutkielmaa kirjoitettaessa julkaistu kaivausraportteja.

### 1.3. TIETOKONEOHJELMAT JA ALGORITMIT

Fotogrammetriassa käytettävät tietokoneohjelmat on ohjelmoitu hyödyntämään erilaisia algoritmeja, matemaattisia malleja, joilla tietokone pyrkii jäljittelemään ihmissilmää. Useat

---

<sup>66</sup> Purhonen & Söyrinki 1973: 89.

<sup>67</sup> Purhonen & Söyrinki 1973: 230.

<sup>68</sup> Mittaukset ja valokuvat oli otettu kaksi vuotta ennen tuhopolttoa. Fotogrammetrian mittaukset mahdollistivat rakenteiden rekonstruoinnin. [Museovirasto 2015c]

<sup>69</sup> Ratilainen 2012: 133–135.

<sup>70</sup> Museovirasto 2015d.

<sup>71</sup> Anttiroiko <sähköpostikeskustelu> 2015. Fotogrammetriaa käytettiin ainakin Pietarsaaren Torin kaivauksilla 26.5-30.7.2015 kivijalkojen ja kellarien dokumentoimiseen sekä Espoon Kauklahdella, Espoonjoen sortumasta paljastuneen puurakenteen dokumentoimiseen 26.10.-6.11. 2015.



ohjelmat hyödyntävät useita eri algoritmeja kun mallia luodaan vaiheittain. Agisoftin kehittämä PhotoScan-ohjelma muodostaa kolmiulotteisen kuvan tavallisista kaksiulotteisista valokuvista. Se käyttää Bundler<sup>72</sup>, *Structure from Motion* (SFM)<sup>73</sup> ja *Dense Stereo Matching*<sup>74</sup> -algoritmeja<sup>75</sup>. Valokuvien valitsemisen jälkeen ensimmäinen askel on valokuvien yhdistävien pisteiden nopea laskeminen.<sup>76</sup> Agisoftin ohjelmassa algoritmit on kirjoitettu uudestaan ja lisätty omia parannuksia, mahdollistaen heidän mukaansa paremman tarkkuuden entistä lyhyemmässä ajassa. Ohjelman hankinta ja kuvien luominen ovat myös edullisia verrattuna useaan muuhun mallintamismenetelmään tai pinnanmuotoja kartoittaviin laitteisiin<sup>77</sup>.

Ohjelman helppo ja suoraviivainen käyttö<sup>78</sup> helpottaa uusien käyttömahdollisuuksien keksimistä, mutta luo mielestäni myös paremman pohjan mahdollisen hyötykäytön leviämisessä arkeologien keskuuteen. Ohjelman käyttämät algoritmit tulevat sekä fotogrammetrian että tietokonenäköä tutkivasta tieteenalasta.<sup>79</sup> Lyhyesti ilmaistuna, PhotoScan-ohjelma prosessoi kaksiulotteisia valokuvia, muodostaen kolmen työvaiheen kautta kolmiulotteisen mallin alkuperäisestä kohteesta. Ohjelma muodostaa tiheän ja tarkan verkkomallin kohteen pinnanmuodoista.<sup>80</sup> Agisoft onkin kehittänyt menetelmää niin, ettei kohteesta otetuista valokuvista tarvitse tietää suuntaa tai paikkatietoja. Näin luotu malli jää kuitenkin irralliseksi ympäristöstään, ja ilman kokoon liittyviä arvoja. Tästä voi seurata ongelmia myöhemmässä vaiheessa, mikäli mallia halutaan hyödyntää esimerkiksi mittaamiseen.

---

<sup>72</sup> Szeliski 2011: 320. Bundle adjustment -toiminto mahdollistaa esikalibroimattomien kuvien käytön, jolloin kuvien suuntaa tai sijaintia ei tarvitse tietää.

<sup>73</sup> Lue esim. Szeliski 2011: 305–332. Structure from motion -algoritmit kykenevät rakentamaan kolmiulotteista maailmaa jäljentelevän pistepilvimallin kohteista, joista on otettu valokuvia. Valokuvissa tulee olla tietty määrä päällekkäisyyttä (overlapping), jotta algoritmi huomioi kuvista samat pisteet, yhdistäen kuvat toisiinsa.

<sup>74</sup> Szeliski 2011: 477–480: Dense stereo matching -algoritmeissa lähdetään liikkeelle kuvassa esiintyvien pikseleiden samankaltaisuuksien arvioinnista, sekä pyritään määrittelemään, kuinka suurella todennäköisyydellä kohteen pisteet ovat vastaavia tai vuorovaikutuksessa keskenään.

<sup>75</sup> De Reu & al 2013a: 1108.

<sup>76</sup> De Reu & al 2013a: 1108. Lisäksi katso <http://www.agisoft.com/features/professional-edition/>.

<sup>77</sup> Lue esimerkiksi Skarlatos & al. 2004. 3D-skannerit, GPS-laitteet (Lock 2000:51) sekä ilmavalokuvaamiseen käytetyt lennokit hyödyntävät elektronisia laitteita, joita valmistetaan varta vasten tutkimuskäyttöön, tehden niistä usein pelkkiä tietokoneohjelmia kalliimpia.

<sup>78</sup> Verhoeven 2011: 1–7.

<sup>79</sup> Trucco 1998: 1–13. Computer vision = ‘Tietokonenäkö’ (suora käänös), monitieteellinen tieteenala, jossa kolmiulotteisen näkemisen geometrisia lainalaisuuksia pyritään selvittämään.

<sup>80</sup> Verhoeven 2011: 1.

Kohteiden metrisen mittakaavan puuttuminen ei aina kuitenkaan ole este, sillä niiden koko voidaan päätellä muilla keinoin. Esimerkki mallien hyödyntämisestä ulkomailla on eräs ajankohtainen digitaalisia valokuvia hyödyntävä, esineellistä kulttuuria mallintava projekti, nimeltään Project Mosul.<sup>81</sup> Projektissa on toimijoina Euroopan Unionin rahoittaman projektin ITN-DCH<sup>82</sup>:n tutkijoita ja koordinaattoreita. Se on vastaisku museo- ja maailmanperintökohteiden tuhoamiselle, jota ISIS-järjestö<sup>83</sup> tekee valvomillaan alueilla Lähi-idässä.<sup>84</sup> Projektissa pyritään luomaan 3D-mallit tuhotuista esineistä valokuvien avulla. Hyödynnettävät valokuvat ovat usein turistien ottamia, ja ne on otettu ennen museon sulkeutumista yleisöltä, siis ennen vuotta 2003. Eräs projektin esiin nostamista ongelmista on hyvistä valokuvista luodun mallin vertaaminen huonompilaatuisiakin kuvia mukanaan pitäviin malleihin. Vain reilulla kymmenellä eri suunnasta otetulla kuvalla tutkimusryhmä on pystynyt luomaan luotettavia kopioita aidoista esineistä.<sup>85</sup> Sitä ei mainita, millä ohjelmalla ja millaisessa ajassa mallit on luotu, mutta aiheesta toivottavasti julkaistaan lisää informaatiota myös muualla kuin sisäisessä verkossa.

Toinen samankaltainen, ennen kohteiden tuhoutumista otettuja valokuvia hyödyntävä projekti on nimeltään #NewPalmyra. Projekti on kerännyt valokuvia ja mallintanut Palmyran kaupungin muinaisjäänkökohteita, kuten Baal Shamin ja Belin temppelit, sekä Palmyran roomalaisen teatterin ja triumfikaaren. Projektin tarkoituksena on digitaalisten työkalujen avulla virtuaalisesti uudelleenrakentaa, säilyttää ja jakaa tietoa ISIS:n tuhoamista kulttuuriperintökohteista.<sup>86</sup>

---

<sup>81</sup> Cordis 2015; Project Mosul 2015.

<sup>82</sup> Tulee sanoista “Initial Training Network for Digital Cultural Heritage: Projecting our Past to the Future”, ks. <http://www.itn-dch.eu/index.php/about-us/>. Luettu 14.2.2016.

<sup>83</sup> ISIS on Irakin ja Syyrian rajat ylittävä terroristijärjestöksi luettu jihadistijärjestö, joka julistautui kalifaatiksi, ks. Caris & Reynolds 2014.

<sup>84</sup> Guardian.com 2015: Uutispalvelusivusto Guardian.com on kerännyt ISIS:n tuhomista kohteista uutisia eri verkkolähteistä. Verkkosivuilta löytyy esimerkiksi video siitä, kuinka ilmeisesti ISIS-järjestöön kuuluvat sotilaat tuhoavat Mosulin museon muinaisjäänköksiä.

<sup>85</sup> Tiedonanto projektista Euroopan Komission alaisen CORDIS-palvelun verkkosivuilla. [http://cordis.europa.eu/news/rcn/122604\\_en.html](http://cordis.europa.eu/news/rcn/122604_en.html). Luettu 16.11.2015.

<sup>86</sup> NewPalmyra 2016: 3D-malleja varten #NewPalmyra-niminen projekti haluaa ihmisiltä alkuperäiskuvia Palmyran kohteista. Digitaaliset kuvat voi lähettää tutkijoille projektin verkkosivujen kautta.

## 2. AINEISTO

### 2.1. DIAKUVA-AINEISTO

Oulun yliopiston arkeologian laboratorioon on arkistoitu kaikki Oulun yliopiston arkeologian kenttätötoiminnan yhteydessä syntyneet dokumentit vuodesta 1973 lähtien. Velvoitteen johdosta arkisto on kasvanut kymmeniä tuhansia valokuvia sisältäväksi arkistoksi, joka jatkaa kasvuaan aina Oulun yliopiston arkeologian oppiaineen järjestämien kaivaustutkimusten myötä. Vuonna 2012 arkeologian laboratorio järjesti ja pani toimeen digitointihankkeen, jonka tavoitteena oli digitoida koko kuva-arkisto. Prosessilla haluttiin varmistaa kuva-arkiston säilyminen. Lisäksi digitoinnilla haluttiin “saattaa kuva-arkiston digitaalinen kopio ympäristöön, jossa se on mahdollisimman saavutettava ja laajassa kansallisessa sekä kansainvälisessä hyötykäytössä”.<sup>87</sup> Kuva-arkisto käsittää kaikki diavalokuviksi kehitetyt sekä lasikehystetyt kaivauksilla sekä inventoitaessa otetut valokuvat: 27.000 diavalokuvaa, 30.000 mustavalkonegatiivia, sekä tuhansia digitaalikuvia.<sup>88</sup> Digitointiprosessin teki saksalainen ScanDig GmbH -yritys, joka tallensi kuvat TIFF-muotoon.<sup>89</sup> Digitoinnin yhteydessä yritys myös teki kuville kuvanparannusta Digital ICE-metodilla; sen avulla digitoiduissa kuvissa on pyritty poistamaan pölyä, naarmuja ja muita kulumisen jälkiä.<sup>90</sup> Kuvia oli siis paranneltu digitaalisesti, mutta vain mekaanisten vikojen paikantamiseksi kehitetyissä kuvissa. Teknologian mahdollisista vaikutuksista Agisoftin PhotoScan-ohjelman käyttämiin algoritmeihin ei ole tietoja.

Diakuvien digitoinnin ansiosta kuvien läpikäynti nopeutui ja helpottui, mikä mahdollisti koko kuva-arkiston selaamisen inhimillisessä ajassa. Kävin tutkielmaani varten läpi arkeologian laboratorion kovalevyille tallennetut diakuvista luodut pienennökset, joiden koko yksittäin oli noin 8,5 megatavua, ja ne avautuvat suurempia, pakkaamattomia kuvia nopeammin. Alkuperäiset digitoidut kuvat ovat kooltaan 5325x3480 pikseliä (noin 17,7

---

<sup>87</sup> Arkeologian laboratorion kuva-arkiston digitointihanke – lyhyt kuvaus.

<sup>88</sup> Arkeologian laboratorion kuva-arkiston digitointihanke – lyhyt kuvaus. Mallien työstön aikaan diakuvien digitoinnissa käytetty juokseva numeroinnin viimeinen annettu luku oli 28349 kuvaa, mutta noin 170 diaa ei ollut saatavilla digitointia tehtäessä. Luku jatkaa kuitenkin kasvuaan vielä, sillä digitaaliseen arkistoon lisätään mm. kuvat uusilta kaivauksilta.

<sup>89</sup> TIFF on häviötön kuvaformaatti, jonka voi aukaista usealla eri käyttöjärjestelmällä, ks. Cofield 2005: 3.

<sup>90</sup> Nikon 2005: 7.

megapikseliä) veivät yli 50 megatavua kovalevytilaa kappaleelta, ja niiden suuri lukumäärä olisi hankaloittanut valokuva-aineiston käyttöä kannettavalla tietokoneella.

Kävin tutkielmaani varten läpi myös Oulun yliopiston arkeologian laboratorioon diatietokannan, johon oli merkitty kaivauksilla valokuvauspäiväkirjoihin tallennetut tiedot valokuvista, kaivauksista ja kuvausten kohteista. Kuvia oli kaiken kaikkiaan neljältä eri vuosikymmeneltä; vanhimmat kaivauskuvat ovat Oravaisensaaren kaivauksilta Tornioista vuodelta 1973. Tuoreimmat digitoidut kuvat olivat Roosin tontin kaivauksilta Kokkolasta vuodelta 2011. Kuvia selaamalla ja kuvatietoja lukemalla, pyrin valitsemaan mallintamiseen soveltuvat kuvat kohteista.

Selvittääkseni, voiko malleja luoda vanhoista valokuvista, tuli päättää, mistä tutkimuskohteista malleja yritetään tehdä. Aineistona voisi toimia mikä tahansa kaivaus, jolla valokuvaus on ollut osana dokumentointiprosessia. Suomessa ja siten myös Oulun yliopistossa on valokuvausta arkeologisilla kaivauksilla käytetty taso- ja yleiskuvien ottamiseen, sekä muistiinpanojen kaltaisena apuvälineenä selvittämään esimerkiksi maakerrosten suhteita rakenteisiin. Työhöni valikoidut kaivaukset soveltuvat mallin luomiseen, sillä kuvia on otettu erilaisista lähtökohdista, toisessa useammin, toisella pidättyvämmiin. Toiveissa oli, että samasta kohteesta on kuitenkin otettu kuvia useasta kuvakulmasta.

Valokuvien valitseminen mallien luomiseksi osoittautui tärkeäksi. Pilottiaineistona käytetystä Keminmaan Valmarinniemen keskiaikaisen kalmiston kaivausten yli 3000 valokuvasta näki, etteivät kaikki kuvat sovi mallintamiseen. Kuvista on karsittava pois tähän tutkimukseen soveltumattomat kuva-aiheet<sup>91</sup>. Kaikkien kuvien läpikäyminen voi olla hidasta, jos kuvia ei ole järjestetty, tai samasta kohteesta on otettu kuvia ilman että tarvittavia tietoja kuvan kohteesta on laitettu ylös. Arkeologian laboratorion kuvat olivat järjestetty kansioihin pääsääntöisesti kuvan ottamisjärjestyksessä, mikä helpotti kuvien läpikäymistä. Usein kaivausteknisistä syistä samasta kohteesta otetut kuvat eivät aina olleet peräkkäin, vaan kuvaaja oli siirtynyt ottamaan kuvia toisista kohteista, sillä eri alakohteet etenevät usein suurilla kaivauksilla eri tahtiin.

Aloitin mallien tekemisen valitsemalla niihin käytettävät kuvat. Samaa kohdetta esittäviä kuvia tuli olla useasta eri kulmasta, jotta malliin ei syntyisi aukkoja. Alueen koosta riippuen

---

<sup>91</sup> Esimerkiksi kuvat henkilöistä, kuten kaivajista oli helppo todeta tämän työn kannalta merkityksettömiksi. Työn edetessä karsin kuvista myös yksittäiset haudoista tai kaivauksista otetut kuvat, joista kolmiulotteisuutta ei voi saada tutkielmaani varten käytössä olevalla ohjelmalla.

jopa neljällä kuvalla saa tuloksia aikaan, mutta jopa kahdeksalla kuvalla sai haudasta usein hyviä tuloksia.<sup>92</sup> Aukot 3D-mallissa eivät välttämättä haittaa, jos ne eivät häiritse mallin tarkastelua. Valitsin kuvia malliin silmämääräisesti, painottaen sitä että kuvanipussa näkyi useassa kuvassa tunnistettavia yhteisiä kohteita, sekä diatietokantaan merkittyjen valokuvauspäiväkirjan tietojen perusteella. En aina valinnut pelkästään tarkimpia kuvia, vaan halusin että kuvia olisi määrällisesti eniten, sillä luotin PhotoScan-ohjelman kykyyn jättää hyödyntämiskelvottomat kuvat mallista.

Tutkielmaani varten halusin selvittää, mitä muita usealla valokuvalla dokumentoituja kohteita voisi mallintaa. Haku arkeologien diavalokuvatietokannasta, sanalla röykkiö, tuotti 1584 tulosta, joten röykkiö on varsin suosittu valokuvauksen kohde kuva-aineistossa. Sanalla hauta, löytyi 1396 tulosta, ja sanalla rakenne 372 tulosta. On toki mahdollista, että rakenteita, hautoja ja röykkiöitä löytyy myös kuvista, joihin ei ole merkitty aihetta, mutta kuvia selaamalla huomaa, että röykkiöitä oli kuvattu paljon.

## **2.2. KOHTEET**

Valitsemani kohteet ovat sellaisia, joilla Oulun yliopiston arkeologian oppiaine on järjestänyt arkeologisia tutkimus/opetuskaivauksia. Yksi tärkeimmistä projektiin valituista kohteista, Keminmaan Valmarinniemen kaivaukset, valikoitui tutkielmani alkuvaiheessa eräänlaiseksi pilottiprojektiksi, ja mallintekoprosessin myötä laajensin tutkielmaa varten tehtävien kohteiden kirjoa Muhoksen Laitasaaren Palokankaan kaivauskuvilla ja röykkiöiden kuvilla Keminmaan Haapamaasta sekä Keminmaan Kiimamaasta.

### **2.2.1. KEMINMAA, VALMARINNIEMI [241010037]**

Kesällä 1981 kaivausjohtaja Pentti Koivusen johdolla arkeologit etsivät Keminmaan Valmarinniemellä keskiaikaisen kirkon paikkaa. Kaivauksilla löydettiin lukuisia hautoja, vainajia sekä myös kirkonpaikaksi tulkittuja jälkiä.<sup>93</sup> Kaivauksilla oli otettu paljon kuvia, ja kuvia selaamalla havaitsi, että kuvia oli otettu useita samasta kohteesta, kuvanottokulmaa vaihdellen. Kuvia oli yli 3000, joka on selvästi yli tavallisella arkeologisella kaivauksella otettujen kuvien keskiarvon, kuvien ottamisen lukumäärän vaihdellessa muutamasta

---

<sup>92</sup> Esimerkiksi hyvin onnistuneita malleja: Malli 12: 8 valokuvaa, Malli 9: 9 valokuvaa, Malli 14: 10 valokuvaa, Malli 11: 12 valokuvaa, ks. Liite 2.

<sup>93</sup> Koivunen 1981: 50–51 ja Museoviraston rekisteriportaali: [http://kulttuuriymparisto.nba.fi/netsovellus/rekisteriportaali/mjreki/read/asp/r\\_kohde\\_det1.aspx?KOHDE\\_ID=241010037](http://kulttuuriymparisto.nba.fi/netsovellus/rekisteriportaali/mjreki/read/asp/r_kohde_det1.aspx?KOHDE_ID=241010037). Luettu 27.4.2016.

kymmenestä<sup>94</sup> satoihin<sup>95</sup>, yltäen kahdella kaivauksella yli tuhanteen diakuvaan.<sup>96</sup> Pääsyynä juuri tämän kaivauksen valinnalla aineistoksi on se, miten Valmarinniemen kaivauksilla dokumentoitiin kameralla; kaivausten aikana otetut 3000 väridiakuva kertovat kameraa käytetyn ahkerasti. Lisäksi kohteista on otettu stereoparikuvia, mutta tätä ei harrastettu kovin systemaattisesti.<sup>97</sup>

Esimerkin vuoksi loin mallin myös yksittäisestä löydöstä (ks. Liite 2, Malli 13), joka on kuvattu *in situ*, löytökontekstissa. Esineiden mallintamiseen kenttäolosuhteet eivät kuitenkaan aina ole parhaat mahdollisuudet. Käytyäni läpi kaivauksilla otettuja kuvia iso osa valitsemistani Valmarinniemen kaivausten kuvista esitti hautauksia. Hautaukset kaivettiin arkeologisilla kaivauksilla uudestaan auki hautaamista varten tehdyn kuopan ääriivivojen mukaisesti. Avatut kuopat oli sitten kuvattu melko hyvin, usein jopa kaivausten eri vaiheessa ja useasta eri kulmasta. Kaikkiaan kaivauksilla rekisteröitiin 151 hautaa, joista arkeologit dokumentoivat 88.<sup>98</sup> Keminmaan Valmarinniemen kaivausten valokuvauspäiväkirjaan oli kuva-aiheeksi kirjattu sana ”hauta” 593 kertaa ja sana ”haudat” 113 kertaa. Mutta myös muissa kuvissa esiintyy hautauksia, vaikka niitä ei päiväkirjaan ole merkitty. Valitsin mallintekoprosessiin mukaan haudat joissa oli vähintään 8 kuvaa. Eniten valokuvia oli otettu haudasta numero 9; kuvia oli 23 kappaletta. Mallintamista varten valitsemistani haudoista oli otettu keskimäärin 13 kuvaa per hauta.

### **2.2.2. MUHOS, LAITASAARI, PALOKANGAS [494010085]**

Toiseksi esimerkkiaineistoksi valikoitui Muhoksen Laitasaaren Palokankaan kaivauksilla otetut kuvat. Muhoksen Laitasaaren Palokangas sijaitsee noin 20 km Oulusta sisämaahan päin. Palokankaan kaivaukset järjestettiin touko-kesäkuussa vuonna 2000 ja ne järjestettiin osana Oulun yliopiston arkeologian laboratorion koekaivausryhmän toimintaa. Kenttäjohtajina Palokankaan kaivauksilla toimivat Vesa-Pekka Herva ja Mikko Hietala. Palokankaan arkeologisilla kaivauksilla tutkittiin kesällä 1999 inventoinneissa löydettyä

---

<sup>94</sup> Esim. Pattijoki Pikkuliekonkangas 1980, Iin Olhavan Hiidenkangas 1990.

<sup>95</sup> Esim. Tornio Luukkaankangas 1984, Hailuodon kirkko 1985, Tornion Laivajärven Rakanmäen kaivaukset 1986, Oulun NMKY:n tontti 1986.

<sup>96</sup> Esim. Keminmaan Valmarinniemen kaivaukset 1981 ja Rovaniemen Ylikylän kaivaukset 1982.

<sup>97</sup> Stereoparikuvia näyttäsi kuvatun datatietokannan mukaan seuraavilla kaivauksilla: Tornion Oravaisensaari 1974, Rovaniemen Ylikylä 1978 Keminmaan Valmarinniemellä 1981, Rovaniemen Paavalniemen Oinas 1983, Kempeleen Linnakangas 1983, Tornion Laivajärven Rakanmäki 1985, Hailuodon kirkko 1985 ja 1986, Oulun NMKY:n tontti 1986 sekä Yli-Ii:n Kierkikin Kuuselankangas 1996.

<sup>98</sup> Koivunen 1981: 48.

maakumpua. Noin 0,5m x 3,4m x 4,1m:n kokoisesta kummusta tutkittiin n. 20 m<sup>2</sup>.<sup>99</sup> Ennen kaivauksia kumpu ajoitettiin pronssikautiseksi tunnetun ja samalla korkeudella sijaitsevan Muhoksen Hangaskankaan asuinpaikan [1000006785] läheisyyden ja topografisten yhtäläisyyksien vuoksi.<sup>100</sup> Kumpu koostui löyhästä hiekasta ja pienistä kivistä, joiden seassa oli vähäisiä määriä hiiltä. Kummun pohjoispäästä paljastui kolme metriä pitkiä hiiltyneitä lautoja. Vaikka kummun funktio jäi tuntemattomaksi, on sen tulkittu olevan Suomen alueella ennestään tuntematon rautakautinen kohde.<sup>101</sup>

Muhoksen kaivaukset olivat varsin vähälöytöiset, eikä kaivauksilla ilmeisesti ollut kohteita, joita kuvata. Tästä syystä vain muutamaa kohtaa kaivauksilla on kuvattu useasta suunnasta. Kuvia oli kaivauksilla otettu kameralla yhteensä vain 90 kappaletta. Kuvat oli otettu valokuvauksellisesti haastavissa olosuhteissa; auringon valo ja läheiset puut loivat kaivausalueen pinnalle epätasaiset valo-olosuhteet. Vastaavia ongelmia joudutaan varsin usein kohtaamaan arkeologisilla kaivauksilla. Lisäksi Valmarinniemen kaivauksia mallintaessa tuli huomattua, ettei mallin luomiseen tarvitse välttämättä kuin kourallisen kuvia, joten Muhoksen Palokankaan kaivaukset soveltuivat esimerkiksi haastavimmista olosuhteista.

### **2.2.3. KEMINMAAN HAAPAMAAN RÖYKKIÖ [241010049]**

Monipuolisemman kohdetyyppiötännän saamiseksi tein ortokuvat kahdesta Pohjanmaan kiviröykkiöistä. Keminmaan Haapamaan yhdistetyillä opetus- ja tutkimuskaivauksilla kaivausjohtajana toimi Pentti Koivunen, ja ne järjestettiin kesällä 1989. Kaivauksista on Pentti Koivusen kirjoittama tutkimuskertomus. Kaivausten päätutkimuskohteina oli kaksi röykkiötä, joista toinen oli muodoltaan suorakulmainen ja toinen pyöreä. Röykkiötä esiin kaivettaessa siitä paljastui kaksi kappaletta bautakiviksi tulkittuja pystykiviä. Kohteen ajoitus jäi epävarmaksi, mutta Koivunen tulkitsee kohteen pronssikautiseksi rannansiirtymäajoitusta ja kohteen tyyppiä perusteina käyttäen. Rautakaudella se olisi ollut hänen mukaansa liian kaukana rannasta.<sup>102</sup>

---

<sup>99</sup> Herva 2000: 4.

<sup>100</sup> Herva & al. 2004: 21.

<sup>101</sup> Herva & al. 2004: 24.

<sup>102</sup> Koivunen 1990: 1–8.

Mallinnettavaksi kuvien perusteella valikoitui Røykkiö 2, joka tulkittiin kaivaustutkimuksissa esineelliseksi ruumishaudaksi.<sup>103</sup> Røykkiötä pidettiin aluksi Keminmaan Haapamaan røykkiöistä pienempänä, mutta pintaturpeen poiston jälkeen se osoittautui lähes yhtä suureksi kuin Røykkiö 1. Halkaisijaltaan Røykkiö 2 oli noin 5,4 x 3,8 m. Kaivauksien ainoa esinelöytö oli Røykkiö 2:sta löytynyt kvartsiesine (KM 25432). Ryöstökuopat olivat sekoittaneet røykkiön rakennetta.<sup>104</sup> Mallintamiseen valitsin kuvia, joita oli otettu 5–8 cm paksun turvekerroksen, sekä kahden kivikerroksen poistamisen jälkeen, kun kohteesta oli sisempi muoto hahmottumassa.

#### **2.2.4. KEMINMAAN KIIMAMAAN RÖYKKIÖ [241010023]**

Oulun yliopiston arkeologit järjestivät vuonna 1992 Keminmaan Kiimamaan kaivaukset. Kaivausten vastuujohtajana toimi Pentti Koivunen, paikallisjohtajana Jari Okkonen. Keminmaan Kiimamaan kohde sijaitsee noin 8 kilometriä Kemin keskustasta itä-kaakkoon. Kiimamaa on pohjois-etelä-suuntainen moreenimuodostuma, ja kohteessa on kaikkiaan yhdeksän kivirakennelmaa. Kiimamaan kohde ajoittuneen C<sup>14</sup>-ajoituksen, rannansiirtymäkronologian ja läheiseltä asuinpaikalta löytyneen SÄR 2-keramiikan avulla esiroomalaiselle ajalle.<sup>105</sup>

Valitsin mallinnettavaksi kaivauksilla røykkiö numero 8:ksi nimetyn kohteen, sillä kohteesta otetut valokuvat vaikuttivat lupaavilta: niitä oli otettu useasta eri kuvaussuunnasta. Kaivausalue oli kooltaan 6 x 7 metriä. Røykkiö 8:n koko oli halkaisijaltaan noin 5,5 m ja sen korkeus luonnollisen rakan pinnasta oli noin 40 cm. Kiviaines rakenteessa vaihteli noin 5 cm:n kokoisista kivistä 50 cm kehäkiviin. Kiviaineksen poiston jälkeen røykkiössä oli havaittavissa nelikulmainen, noin 25–40 cm kokoisista kivistä koostuva rakennelma, jonka mitat olivat 3,7 x 2,2m<sup>106</sup>. Itse røykkiöstä ei ollut ajoittavia löytöjä, mutta røykkiöstä löydetty palaneet kivet Okkonen tulkitsee mahdollisesti läheiseltä asuinpaikalta peräisin oleviksi.<sup>107</sup>

---

<sup>103</sup> Koivunen 1990: 7–8.

<sup>104</sup> Koivunen 1990: 4–5.

<sup>105</sup> Okkonen 1993: 1–3.

<sup>106</sup> Okkonen 1993: 4.

<sup>107</sup> Okkonen 1993: 12.



### 3. MALLINLUOMISPROSESSI JA PINTAMALLIEN TARKASTELU

#### 3.1. MALLINLUOMISPROSESSI PHOTOSCAN-OHJELMASSA

Kohteiden ja kuvien valitsemisen jälkeen aloitin mallien tekemisen Agisoftin PhotoScan-ohjelmalla. Ohjelman käyttöliittymän yläpalkissa sijaitsevasta alavetovalikosta, kohdasta Workflow (suomeksi työnkulku), pystyy lisäämään mallia varten tarvittavat valokuvat. Halutut valokuvat lisätään ohjelmaan Add Photos -valikosta. Kuvia voi esimerkiksi lisätä, poistaa tai rajata työvaiheiden välissä. Valokuvien lisäämisen tai muokkaamisen jälkeen ohjelman tulee määrittellä valokuvien sijaintitiedot suhteessa toisiinsa. Tämä tapahtuu valitsemalla Workflow-valikon Align Photos -toiminto.<sup>108</sup> Tietokoneohjelma pyrkii tässä vaiheessa luomaan yksinkertaistetun mallin kohteesta, jonka ympärille se on laskenut kameran suhteelliset sijaintitiedot ja kuvaussuunnat (Kuva 2). Tässä vaiheessa on myös mahdollista, että tietokone ei löydä kuvista yhdistäviä pisteitä. Align-vaiheen eli kuvien yhdistävien pisteiden linjaamisen epäonnistuttua tulee lisätä joko uusia kuvia tai rajata valokuvissa näkyviä alueita. Jos uusia valokuvia ei voi lisätä, on mahdollista yrittää rajata valokuvista ylimääräisiksi katsottuja alueita, jotta välttyttäisiin tietokoneohjelman algoritmien tekemää yhdistävien pisteiden etsimistä liian suurelta alalta. On huomattava, että valokuvien rajaaminen saattaa vähentää aikaa, joka linjauksessa kuluu, mutta käyttäjä saattaa samalla leikata valokuvista geometrisia merkkejä, joita tietokoneohjelma hyödyntää valokuvien yhdistämisessä. Koska tein malleja työssäni hyvin pienillä valokuvamäärillä, oli Align-vaiheen läpi saaminen merkki jonkinlaisen kolmiulotteisen mallin onnistumisesta. Mallin taso saattoi kuitenkin vaihdella, vaikka tämä ensimmäinen vaihe onnistuikin.

Ensimmäisen vaiheen jälkeen suoritetaan geometrisen mallin muodostaminen suorittamalla jälleen samasta valikosta komento 'Build Geometry'.<sup>109</sup> Ohjelman myöhemmissä versioissa vaihe on jaettu Build Dense Cloud sekä Build Mesh -osioihin.<sup>110</sup>

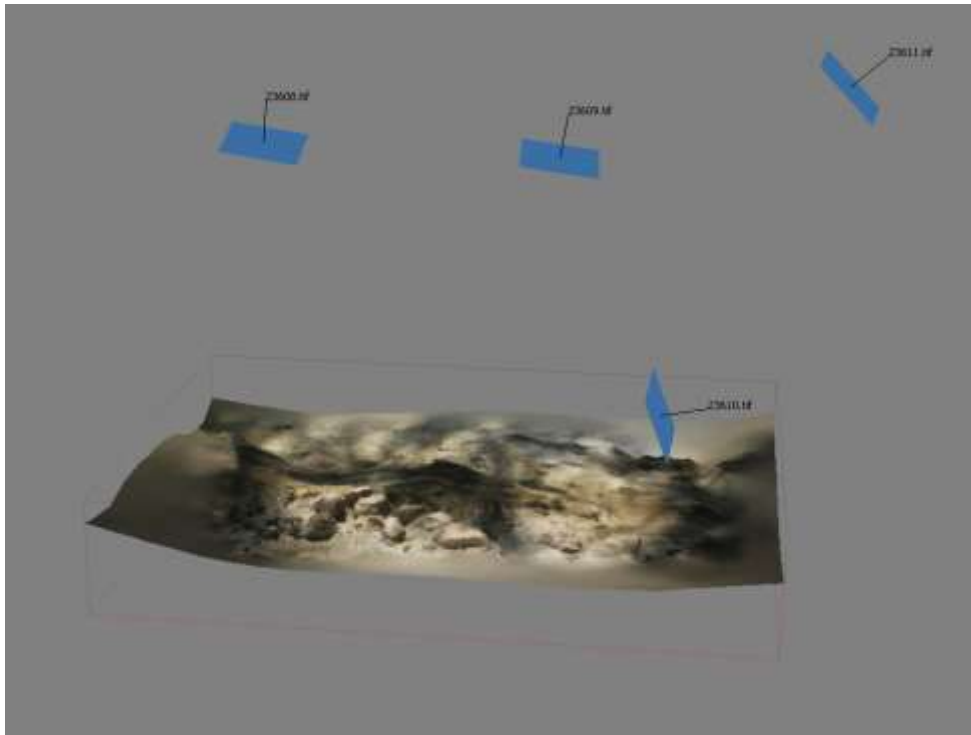
---

<sup>108</sup> Rekiaro & Robinson 1992: "align, ... 1 Ojentaa, oikaista, panna ojennukseen, suoristaa 2 yhtyä (jonkun näkemykseen/kantaan)"

<sup>109</sup> Geometrasta mallia luotaessa kohde muodostaa valokuvista laskettujen pisteiden avulla tarkat todellista pintaa jäljittelevät pisteet ja liittää pisteet toisiinsa viivoilla kolmioiksi. Tällöin pistepilven aukot saavat pieniä kolmiopinta-aloja, joihin myöhemmin liitetään valokuvien tekstuuri.

<sup>110</sup> Agisoft 2016: 14–16.

Geometrisen mallin tekeminen vie tietokoneelta<sup>111</sup> eniten aikaa.<sup>112</sup> Tämän vaiheen jälkeen mallin pisteet on täytetty pintamalla esittäville pienillä kolmioilla, ja mitä enemmän kolmioita on, sen tarkemmalta malli yleensä ihmissilmälle näyttää. Tämä vaihe vei tutkimuksissani aikaa viidestätoista minuutista useaan tuntiin. Tarkan ajan saaminen kaikista malleista ei onnistunut, sillä huomattavan pitkäkestoisen prosessin kohdalla jätin toisinaan tietokoneen tekemään malleja yön yli.



Kuva 2: Muhos, Palokangas. Photoscanin laskemat kameran sijainnit näkyvät sinisinä nelikulmioina kaivausalueen yläpuolella.

Lopuksi malliin halutaan usein tuoda tarkat väri- ja valotusarvot kohteen pinnasta, jotta mallista tulee entistä realistisempi ja mallin hahmotus ehkä helpottuu entisestään. Se tapahtuu Workflow -alasetoalistokosta 'Build Texture'. Kone tarjoaa erilaisia vaihtoehtoja tekstuurin luomiseksi, esimerkiksi koskien sitä, hyödynnetäänkö prosessissa yhtä vai useampaa valokuvaa. Kone asettaa valokuvien sisältämät tarkat valo- ja väriarvot rakennetun pintamallin päälle. Tätä vaihetta ei aina ole pakko tehdä, jos kiinnostuksena on vain kohteen pinnan muotojen vaihtelun tarkastelu. Kaikkien näiden vaiheiden jälkeen mallia voi

---

<sup>111</sup> Tietokoneena käytin Oulun yliopiston arkeologian laboratorion HP Z400 Workstation -tietokonetta, joka on varustettu Intel Xeon 3,07 GHz CPU -prosessorilla ja Nvidia Quadro 4000 -näytönohjaimella.

<sup>112</sup> Mallin tekemiseen käytetty aika on arvio, sillä tietokone päivittää mallin tekemiseen tarvittavaa aikaa samalla kun se luo mallia. Todellisuudessa ohjelman läpi käymiseen saattoi kuluu useamman tunnin vähemmän tai enemmän aikaa kuin mitä Agisoft Photoscan mallintamisprosessin alkuvaiheessa arvioi.

tarkastella useasta eri näkymästä: mallia voi tarkastella tekstuurien, pelkän pintamallin, pistemallin tai verkkomallin kanssa.

Työprosessini aikana onnistuneita malleja syntyi kaikkiaan 25 kappaletta. Malleja tein neljältä eri kaivaukselta, kahdestakymmenestä erilaisesta tunnistettavasta arkeologisesta kohteesta. Joistakin kohteista tein useamman kuin yhden mallin, sillä halusin vertailla ohjelman tarjoamien eri tarkkuusasetusten vaikutusta lopputulokseen. Malleista näkyvät periaatteessa samat asiat mitä kuvissa, mutta 3D-mallissa tarkastelun mahdollisuudet monipuolistuvat.

Tekemieni pintamallien tallennusformaattina toimi enimmäkseen PhotoScanin .psz-tallennusformaatti. Lisäksi tekemistäni malleista osan tallensin yleisemmin hyödynnettävään .ply-tiedostopäätteeksi<sup>113</sup>, jotka nimesin haudan numeron mukaan ja tarkastelin Breuckmannin Optocat-ohjelmalla. Optocat on Breuckmannin smartSCAN 3D-skannerin mukana tullut tietokonesovellus, joka tukee erilaisten laskutoimituksien tekemistä varsin lukuisilla eri tiedostomuodoilla tallennetuista malleista. Ohjelman Inspection-valikkoon kootut pienoishjelmat tarjoavat erilaisia keinoja hyödyntää malleista saatavaa informaatiota. Malleihin voi lisätä objekteja, niitä voi mitata tai ne voi lisätä koordinaatistoon.<sup>114</sup> Lisäksi käytin Adobe Photoshop –ohjelmaa kuvien muokkaukseen, ja ortokuvan hyödyntämiseen.

### **3.2. KOHTEIDEN OMINAISUUKSISTA**

Tarkastelin pintamalleja riippumatta siitä, katsoinko mallit onnistuneiksi vai epäonnistuneiksi. Tätä kautta halusin selvittää piirteitä, jotka saattavat johtaa epäonnistumiseen tai onnistumiseen. Epäonnistuneita malleja oli erilaisia. Agisoft PhotoScan -ohjelma saattoi antaa virheviestin, jos ohjelmaan latsi pelkästään sellaisia kuvia, joita se ei pystynyt hyödyntämään. Aina tietokoneohjelma ei kuitenkaan kertonut syytä mallinluomisprosessin ajon keskeytymiseen. Useimmiten ohjelma kuitenkin suoritti algoritmit ja tuloksena oli erilaisia pintamalleja kohteista. Jaoin mallien onnistumisen ja epäonnistumisen sen mukaan, oliko lopputuloksessa havaittavissa kolmiulotteista muotoa. Ensimmäinen merkki mallin epäonnistumisesta oli siis kolmiulotteisuuden puuttumisen lopputuloksesta. Toinen merkki oli mallin selkeästi epänormaali muoto; esimerkiksi pyöreän muodon rakentuminen malliin,

---

<sup>113</sup> Tiedostoformaatti joka on suunniteltu tallentamaan kolmiulotteista dataa.

<sup>114</sup> Breuckmann Optocat 2011: 48, 172–224.

jonka tekemiseen käytetyt valokuvat oli otettu tasaisella kaivausalueella, kertoi mallin epäonnistumisesta.<sup>115</sup>

Keminmaan Valmarinniemen kuvista 3D-malli onnistui varsin useasti. Lähes kaikista prosessoimistani haudoista sain Photoscan-ohjelmalla tuotettua jonkinasteisen mallin. Mallien visuaalisen näyttävyyden taso vaihteli paljon aukkoja sisältävistä<sup>116</sup> varsin hyvin kohdettaan kuvaaviksi<sup>117</sup>. Luotujen pistemallien kuvan sidospisteiden määrä vaihteli, riippuen. Keminmaan Valmarinniemen 3D-malleissa sidospisteitä oli 580–63242 ja Muhoksen Palokankaalla 11–5706<sup>118</sup>. Tosin vähilläkin pisteillä oli mahdollista saada hyvännäköisiä malleja, jos valokuvissa oli tiettyjä ominaisuuksia. Näitä olivat: valokuvan esittämän kohteen terävyys<sup>119</sup> sekä hyvä valaistus. Valokuvien ottamista ja niiden käyttöä arkeologian jälkitöitä varten on käsitelty joissain opaskirjoissa<sup>120</sup>. Esimerkiksi *Arkeologin valokuvausopas* ei kuitenkaan opastanut siihen, miten kohteet tulisi kuvata jotta kuvia voisi parhaiten hyödyntää. Sen voi nähdä enemmän oppaana kameran ominaisuuksista. Valokuvien ottamisessa on painotettu, ehkä liiaksi, kuvaajan omakohtaisesti omaksumaa kuvaustyyliä, ilman että itse kuvien hyötyjä ja hyödyntämistä on mielestäni pohdittu.

Parhaiten onnistuneet mallit olivat sellaisia, joissa pinnanmuodot ja värisävyt vaihtelivat. Värisävyyden ja pinnan selkeät muodot auttavat Agisoftin Photoscan -ohjelmaa määrittämään eri kuvista yhdistävät pisteet. Hauta on kohde joka selvästi rajautuu kuopan reunoihin, joiden pinnan vaihtelu näkyy eri kuvissa helpottaen koneen prosessia.

Arkeologiset valokuvauksen kohteet ovat siitä haastavia, että niiden pinnat saattavat muuttaa muotoaan. Kun valokuvan kohteena ovat kaivaustasot ja esiin kaivettavat kohteet, niiden pinta muuttuu työn edetessä. Esimerkiksi Keminmaan Valmarinniemen hauta nro 4:n (ks. Liite 2, Malli 1) mallintaminen oli yllättävän haastavaa, sillä valokuvia haudasta näytti olevan, mutta niiden yhdistäminen toisiinsa mallin luomiseksi tuotti tietokoneelle ongelmia. Kuvien valitsemisen kanssa pitää aina käyttää harkintaa, mutta hauta numero 4 mallinnuksen kohdalla eri aikaan otettuja kuvia oli useita. Mielestäni kuvista heijastuu tietynlainen innostus

---

<sup>115</sup> Ks. Liite 2. Mallit 16 ja 23.

<sup>116</sup> Ks. Liite 2: Mallit 1, 2, 10, 14, ja 15.

<sup>117</sup> Ks. Liite 2: Mallit 9, 12, 22, 25.

<sup>118</sup> Ks. Liite 1: Taulukot.

<sup>119</sup> Terävyysalue (*eng. Depth of field*) valokuvassa on alue, joka kameraa tarkennettaessa johonkin kohteeseen, näkyy terävänä polttopisteen etu- ja takapuolella, ks. Dorrell 1989: 14–20.

<sup>120</sup> Purhonen & Söyrinki 1973; Takala 1998.

vainajan löytämisestä; ei ole maltettu odottaa yhtä selkeää tasoa, vaan on valokuvattu vähän väliä. Tämä ei tarkoita sitä, että ennen valokuvadokumentointia tulisi odottaa viimeiseen kaivaustasoon asti; informaatioarvoa voi olla myös keskeneräisesti kaivetulla kohteella, kun eri stratigrafiset yksiköt näkyvät tasossa. Menetelmää ajatellen valokuvat yhdestä kaivaustilanteesta tulisi kuitenkin ottaa lyhyen ajan sisällä toisistaan. Jos kaivausalueella tapahtuu pieniäkin muutoksia, parhaan tuloksen saamiseksi 3D-mallia varten tehty valokuvadokumentointi tulisi aloittaa joka kerta ikään kuin alusta. Paras malli haudasta 4 ei tullut käyttämällä kaikkia mahdollisia kuvia hautauksesta, vaan valitsemalla toisiaan ajallisesti lähinnä olevat kuvat tasosta. Tällainen valitseminen ei useimmiten ollut mahdollista aineistostani, sillä vähäisten kuvamäärien vuoksi korvaavien kuvien löytäminen ei ollut mahdollista. Jouduin siis käyttämään kuvia, joissa kohde oli saattanut jonkin verran muuttua muotoaan. Tämä selittää osan mallien häiriöistä ja epätarkkuuksista.

### **3.3. KUVIEN RAJAUS MASKING-TOIMINNOLLA**

Koska kuvia kaivauksilla on otettu useasta eri suunnasta, näkyy niissä usein jotain tarpeetonta, kuten liikkuvia työvälineitä, vaihtuvia kaivaustasoja tai heijastumia. Tämä ei vaikuttaisi aina haittaavan mallin tarkastelua. Koko kuvan ei tarvitse olla tarkka, mikäli kuvia on otettu lähes samasta suunnasta useampi kappale. Kameran tarkennuksen ulkopuolella olevat kohteet sekä alivalottuneet kuvat jäävät useimmiten ohjelmalta hyödyntämättä, mutta kuvia pystyy myös rajaamaan masking-toiminnolla, kun mallintaja itse havaitsee kuvissa jotain ylimääräistä. Tämä ei sinänsä haittaa, sillä vaikka kaivauksilla on otettu epäonnistuneita kuvia, näin tapahtuu harvoin järjestelmällisesti, ja jokin toinen kuva samasta kulmasta mahdollisesti paikkaa malliin jääneitä aukkoja.

Huomasin, että esimerkiksi kuvien ottamishetkien välillä paikkaa vaihtaneet työkalut, tai vähitellen esiin kaivetut kohteet, joissa kaivausmaisema on muuttunut kuvien ottamisen välillä voivat "hämmäntää" ohjelmaa, tai luoda vääristymiä malliin. Jos kuvien maskeeraaminen ei onnistunut, tuli viimeistään tässä vaiheessa rajata pois selvästi eri kaivaustilanteessa otetut kuvat.

Tekemiini malleihin jäänyt jälki oli useimmiten joko metrin mittainen raidallinen mittakeppi tai metrin mittaiseksi taitettu nivelmitta, mutta myös kuvissa usein olevia ämpäreitä, kaivauslastoja tai muita vastaavia voi periaatteessa käyttää mallin muuntamiseksi mittakaavaan. Jos mittakeppejä, lastaa tai muita mittakaavaksi kelpaavia esineitä on siirrelty

eri kuvien välissä, ei näistä jää jälkiä malliin, vaan ne on pikemminkin parasta maskeerata pois. Näyttäisi myös siltä, että ohjelman algoritmit jättävät ”liikkuvat kohteet”<sup>121</sup> pois mallista. Silti liikkuvien kohteiden mukanaolo saattaa hidastaa mallinnusprosessia, sillä kone ei heti tiedä mitkä kohteet se jättää pois mallista, vaan se vertailee kuvia ja yrittää löytää yhteisiä piirteitä (englanniksi *feature*) Align-vaiheessa<sup>122</sup> Tämä vie suuren osan ohjelman työstöajasta, kun ohjelma vertaa löytämiään piirrepiirteitä ja niiden jatkuvuutta muihin valokuvuihin. Siksi ohjelmaan on laitettu nopeuttavia toimenpiteitä, kuten komento *Pair Preselection*<sup>123</sup>, sekä maskin luominen, jossa laskettavat kuva-alueet rajataan valokuvista manuaalisesti (Masking)<sup>124</sup>. Näiden käyttö osoittautui kuitenkin ongelmalliseksi monen mallin kohdalla, mahdollisesti vähäisten kuvamäärän vuoksi. Pair Preselection -komento yrittää yhdistää valokuvia valokuvapareiksi, joita valitsemisani valokuvakimpuissa harvoin oli. Maskien luominen kuviin taas poisti ylimääräisten asioiden lisäksi valokuvia yhdistäviä pisteitä eikä tietokoneohjelma enää tunnistanut kuvien kohdetta samaksi. Tämä vähensi tietokoneohjelman Align-vaiheessa hyödyntämiä valokuvia, muodostaen mallin entistäkin vähemmällä kuvamäärällä. Yksi tärkeä huomio vähäisillä kuvamäärillä työskennellessä oli, että mallin teko tuntui onnistuvan useammin, kun ei käyttänyt masking-toimintoa.

Joskus masking-toimintoa suositellaan käytettäväksi, sillä se vähentää tietokoneen muistin käyttöä. Joidenkin mallien kohdalla tietokoneen käyttämä työstömuisti ei ollut riittävä, vaan tietokonesovellus todellakin kaatui. Vaikka Keminmaan Valmarinniemen haudan 75 kohdalla käytössä oli vain 8 valokuvaa, käytti kone mallin laskemiseksi välillä kaikki 12GB fyysistä muistia, tämä voi todennäköisesti johtua virheestä ohjelmassa tai mallin tekemiseen valittujen valokuvien ominaisuuksista. Usean tunnin jälkeen PhotoScan kuitenkin

---

<sup>121</sup> Eri kuvien ottamishetken välillä fyysisesti siirretty tai liikkunut kohde. Siirretty esine menettää perspektiivin, eikä ohjelma voi laskea esineen koon vertaantumista muihin kuvassa esiintyviin maamerkkeihin.

<sup>122</sup> *Aligning* (suom. kohdistaminen tai linjaus) on valokuvien valitsemisen jälkeen ensimmäinen vaihe, jossa Photoscan automaattisesti etsii valokuvista niitä yhdistäviä pisteitä. Samalla se laskee kuvista kameran sijaintitiedot mallin suhteen. Tuloksena muodostuu harvapisteinen verkko sekä kameroiden **suhteelliset** paikkatiedot ja suuntaus. Näistä kameroiden paikkatiedot ovat ohjelmalle tärkeässä osassa työn seuraavissa vaiheissa, kun kuvista luodaan yhä tarkempaa mallia, ks Szeliski 2011: 272 ja Agisoft 2013: v.

<sup>123</sup> Ohjelma antaa kaksi vaihtoehtoa rajoittamaan suurten valokuvamäärien aiheuttamia aikaa vieviä toimintoja, Generic- ja Ground control -komennot. Ensimmäinen vaihtoehto pyrkii valitsemaan päällekkäisistä valokuvista valokuvapareja käyttämällä ensin alemmaa tarkkuusasetusta. Jälkimmäisessä ohjelma etsii kohteesta valokuvapareit laskemiensa kameran sijaintitietojen perusteella, ks. Agisoft 2015: 9–11.

<sup>124</sup> Maskeja käytetään leikkaamaan kuvasta pois alueita joiden ei haluta tulevan 3D-malliin. Huomasin, että esimerkiksi kuvien ottamishetkien välillä paikkaa vaihtaneet työkalut, tai vähitellen esiin kaivetut kohteet, joissa kaivausmaisema on muuttunut kuvien ottamisen välillä voivat ”hämmentää” ohjelmaa, tai luoda vääristymiä malliin. Tällöin eri kaivausvaiheissa olleiden kuvien poislukemista hyödynnettävistä kuvista tulee harkita, ks. Agisoft 2013: 9, 22–26.

muodosti pintamallin. Aikaisemmat testit ovat osoittaneet, että ohjelma vaatii paljon muistia, eikä keskihintainen tietokone ole ehkä riittävä käsittelemään dataa.<sup>125</sup> Jos kohteen haluaa mallintaa tarkasti useiden kymmenien kuvien kautta, nousee tietokoneelta vaadittavan muistin määrä sekä prosessorin teho. Vaikka työstämäni kuvia ei ollut useita, olivat digitoidut kuvat noin 18 megapikselin suuruisia, joten ne olivat suurempia kuin Agisoftin PhotoScan-manuaalissa esimerkkinä käytettyjen kuvien (10 megapikseliä) koko.<sup>126</sup> Valokuvien suuri koko selittää sen, miksi vähäisilläkin kuvamäärillä tietokone prosessoi malleja kauan.

### 3.4. PINTAMALLIN SKAALAAMINEN MITTAKAAVAAN

Joistain 3D-malleista oli mahdollista määrittää mitat, ja siirtää pintamalli mittakaavaan. PhotoScan-ohjelma ei kuitenkaan pystynyt automaattisesti kertomaan kuvien mittakaavaa, sillä mallin luomisessa käytetyt parametrit hukkaavat pituusarvot, ellei tarkkoja arvoja syötä vaikkapa takymetrillä mitattuna datana kuvassa näkyviin pisteisiin. Malli on siis kolmiulotteinen kuva, jossa kohteen mitat ovat oikeassa *suhteessa* muihin kuvassa esiintyviin “maamerkkeihin”. Vaikka valokuvia Keminmaan Valmarinniemiellä otettiin useita, ei valokuvissa aina näkynyt mittakaavaa. Vuonna 1998 julkaistussa Hannu Takalan Arkeologian Maastotöiden perusteet -teoksessa opastettiin mittakaavan mukanaoloa kuvissa<sup>127</sup>. Tähän ei Keminmaan Valmarinniemiellä vielä ollut kiinnitetty niin systemaattisesti huomiota. Joissakin malleissa oli näkyvillä kuvanottohetkellä paikallaan pysynyt mittakeppi,<sup>128</sup> joista suhteellisen mittakaavaan sai siirrettyä metrimittaiseksi tuomalla mallin eri tietokoneohjelmalla avattavaan muotoon. Havaitsin, että toisinaan valokuvista oli jäänyt geometrian rakentamisen jälkeen mittakepin kuva itse 3D-verkkomalliin. Tällöin mittakepin tunnettu pituus auttoi muuttamaan mallin koon mittakaavaan ja todellisuutta enemmän vastaavaksi.

Kaksiulotteisesta valokuvasta kolmiulotteisten mittojen tutkiminen ja laskeminen on vaikeaa, mutta kolmiulotteiseen malliin on mahdollista piirtää PhotoScanilla. 3D-malliin jääneiden mittakeppien avulla sain liitettyä malleja metriseen mittakaavaan (Kuva 3), joten siitä olisi mahdollista mitata esimerkiksi luiden pituuksia. Mallin muuntamiseksi mittakaavaan riittää todennäköisesti arkeologisilla kaivauksilla usein käytetyt nivelmitat.

---

<sup>125</sup> Ks. Agisoft 2012:1; De Reu et al. 2014 :261.

<sup>126</sup> Agisoft 2012: 1.

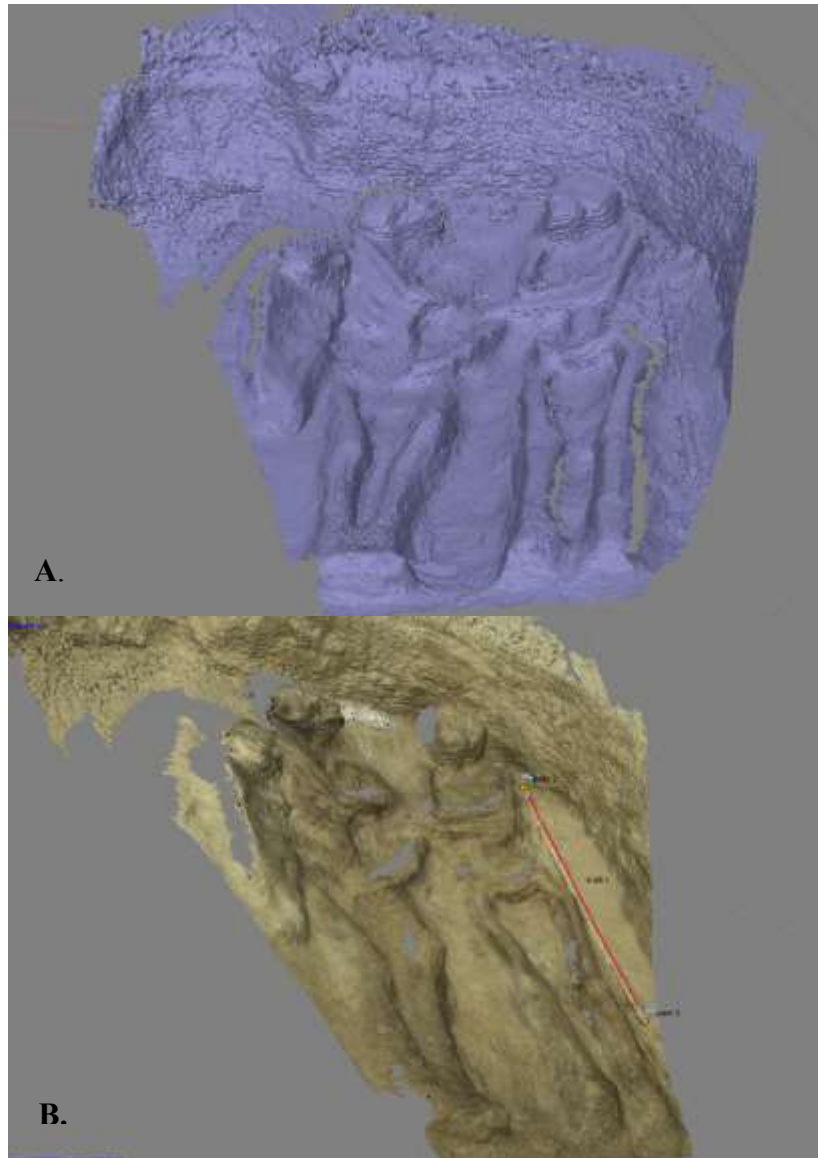
<sup>127</sup> Takala 1998: 164.

<sup>128</sup> Ks. Liite 2: Mallit 3, 9, 12, ja 15 sisälsivät mittakepin muodon pintamallissa.

Keminmaan Valmarinniemen kuvissa näkyy vain harvoin varsinaisia maahan laitettuja merkkipaaluja, joiden etäisyys toisiinsa tunnetaan. Useista kaivauskuvista mittakeppi tai nivelmitta oli puolestaan nähtävissä, mutta sitä on siirrelty kuvausten välillä. Osin tämä johtui siitä, että kuvat on otettu kohteen kaivamisen eri vaiheessa ja mittakeppi tai nivelmitta olisi ollut kaivajan tiellä. Vaikuttaisi myös siltä, että kuvissa mittakaavana toimineita seipäitä ja mittoja on siirrelty kuvaussuunnasta riippuen, jotta ne näkyisivät ortokuvissa hyvin. Tämä toiminta ikävä kyllä vaikeutti mittakaavan antavan mittakepin tai nivelmitan saamista mukaan 3D-malliin.

Mallintamista ajatellen kuvaustilanteeseen olisi hyvä lisätä keinotekoisia pisteitä, joiden sijainti olisi hyvä määrittää esimerkiksi takymetrillä. Mittakepin, sekä nivel- ja rullamitan päät voivat myös toimia skaalaamisen kiintopisteinä, jos niiden näkyminen kolmiulotteisessa mallissa ei haittaa. Mittakeppien näkyminen 3D-mallissa auttoi minua skaalaamaan kuvista luodun mallin tiettyyn mittakaavaan, kun kuviin ei ollut liitettävissä takymetrin keräämää sijaintitietoa. Tämä keino näytti kuitenkin kasvattavan mittavirhettä. Kun vertasi käsin tehtyä dokumentointipiirrosta Kemin Haapamaan röykkiöstä, nuolikompassin ja kaivausalueelle vedettyjen narujen avulla mittakaavaan siirretyn 3D-mallin pituus kasvoi noin viisimetrisen röykkiön rakenteessa noin 20 senttimetriä.





Kuva 3. Esimerkki Photoscan-ohjelmalla luodusta geometrisesta 3D-pintamallista. A) kuvan oikeassa reunassa näkyy raidallisen mittakepin jättämä jälki. B) kuva näyttää, miten jäljen avulla oli mahdollista lisätä malli mittakaavaan.

### 3.5. VALON JA VARJON TUOTTAMAT HÄIRIÖT

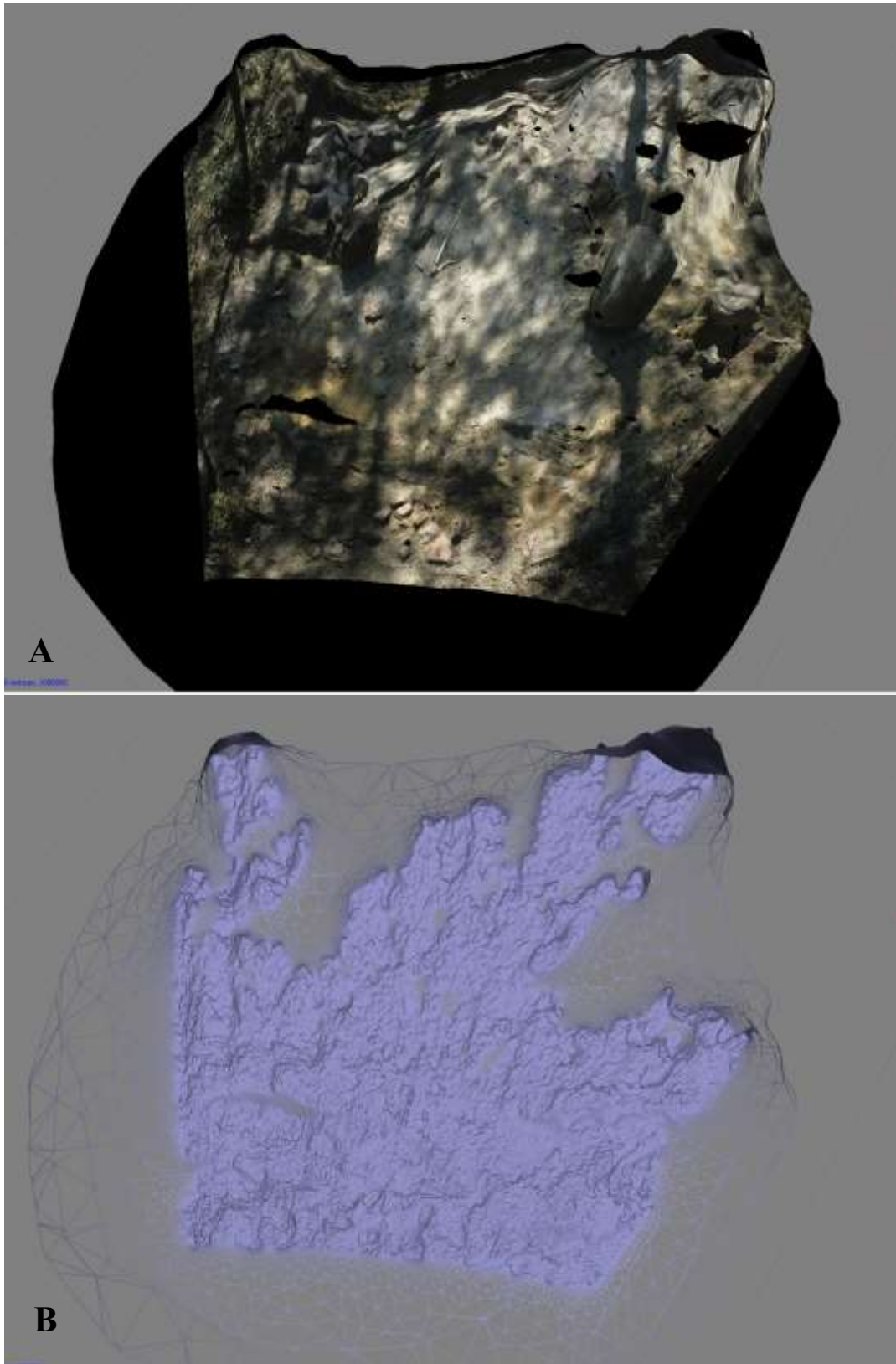
Muhoksen Palokangas oli Keminmaan Valmarinniemeä huomattavasti metsäisempi kohde. Tämä näkyi kuvissa, kun puiden lehvästö luo maahan runsaasti varjoja. Lähes kaikissa malleissa näkyi maassa heijastuneita valon ja varjon vaihteluja. Tuulenvire tuo kuvaustilanteessa varjoihin vielä liikettä, joka aiheuttaa valokuvaan liikkeestä johtuvaa epätarkkuutta (Kuva 4). Varjot aiheuttivat ongelmia erityisesti Muhoksen Palokankaan malleissa, mutta sama ilmiö on havaittavissa myös Keminmaan Valmarinniemen haudan 98 3D-mallissa (ks. Liite 2, Malli 14.).

Ensisilmäyksellä Kuvan 4 malli näyttää onnistuneen jotenkuten, mutta mallia kääntämällä siinä huomaa selkeitä epäjohtonmukaisuuksia. Epäonnistumisen havaitsee hyvin tarkasteltaessa mallin geometriaa PhotoScanin verkkomallinäkyvässä (eng. wireframe). Syy epäonnistumiseen on melko selvä; puiden varjot tuottavat malliin sen geometriassa näkyvät kuopat. Jokainen lehden varjo näyttäisi nostavan mallin pintaa koholle. Muhoksen malleissa näkyy myös muita virheitä; kuten tarkastelukulman vaihtuessa kivet ja maa muuttuivat aaltoilevaksi.<sup>129</sup>

Kuvat, joista syntyi huonoja malleja, olivat usein seuraavanlaisia: kameraa ei ollut tarkennettu kohteeseen tai kohde oli niin laaja, että vain osa kohteesta oli tarkka. Eräs yleinen syy miksi joistain malleista tuli muita huonompia, oli kuvien valotus. Jos kuva oli hämärä, ylivalottunut tai siinä on ympäristön luomia varjoja, on ohjelman vaikea erottaa maan pinnan muotoja varjoista. Ulkona kuvaamisen ongelmana ovat myös sääolosuhteet; sade voi tehdä kuvattavasta pinnasta heijastavan, tai kastella maaperän epätasaisesti niin ettei eri aikaan otettuja kuvia ole mahdollista yhdistää.

---

<sup>129</sup> Määrittelin tähän syyksi valokuvien liian vähäisen määrän. Tällöin 3D-malli malli ei kestä tarkastelua muista kuvakulmista, kuin mistä harvat kuvat on otettu. Ks. Liite 2: Malli 19.



Kuva 4. Muhos Palokangas. Varjojen luomaa häiriötä kaivausalueesta luodussa 3D-mallissa (ks. liite 2: Malli 20). A) malli pintavärien kanssa, B) geometrinen pintamalli ilman tekstuureita.

### 3.6. AUKOT MALLISSA JA TEKSTUURIN ONGELMA

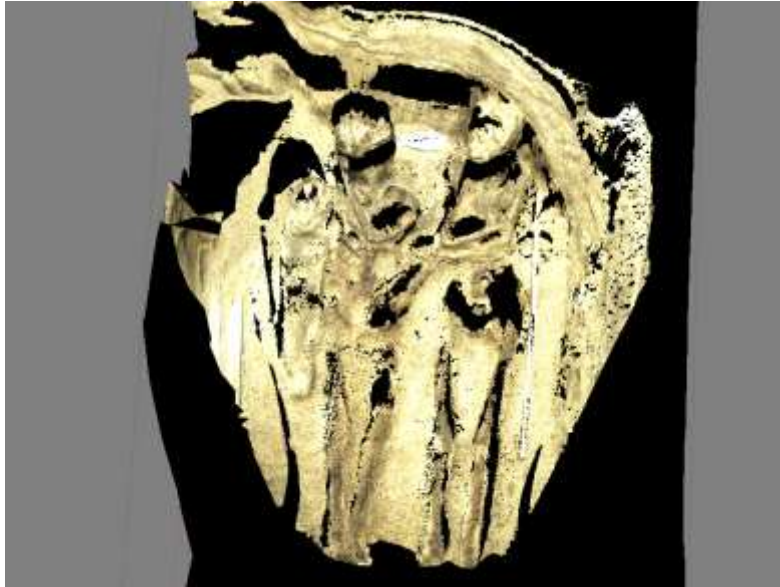
Valokuvien lukumäärä ei aina ollut ratkaiseva tekijä, vaan työn onnistumiseen vaikuttivat myös tietokoneelle annetut asetukset, sekä valokuvauskohteen ominaisuudet. Aina ei kymmenenkään kuvaa riittänyt. Esimerkiksi Yleiskuva 1 -malliin käytin 9 kuvaa ja se silti epäonnistui (Ks. Liite 2: Malli 16). Yksittäisen valokuvan tekstuurin lisääminen malliin kasvatti sokeiden kohtien määrää, kun tarkastelukulmaa vaihtoi. Näitä syntyi mallissa kohtiin, joita valokuvat eivät olleet saaneet katettua, tai johon ohjelma ei ollut onnistunut luomaan pintapisteitä.

Eräs yleinen syy malliin tulleisiin aukkoihin oli kuvien vähäinen määrä kohteesta. Vaikka muutamalla kuvalla oli mahdollista tuottaa näyttäviä malleja, oli kuvat saatettu ottaa liian läheltä toisiaan, mikä vähensi lisäkuvien malliin tuomaa uutta informaatiota. Vähäiset valokuvat toivat malliin mustia aukkoja, kun sitä tarkasteli eri katselukulmasta. Jos mallia tarkasteli suunnasta, mistä valokuvaa ei suoraan ollut otettu, näkyi mallissa vääristymiä. Agisoftin Photoscan ohjekirjassa onkin kerrottu valokuvien päällekkäisyyden vaatimuksesta; se opastaa erityisesti ilmavalokuvien otossa ja suosittelee 60 % poikittaista sekä 80 % sivuttaista päällekkäisyyttä kuvissa. Mikäli ohjelman kriteerit eivät täyty, voi mallien muodostus olla haastavaa ja lopputulokseen muodostuu ”sokeita alueita”.<sup>130</sup> Sokeiden alueiden vaikutusta mallin muodostukselle ei selitetä manuaalissa, mutta niiden määrä suositellaan minimoitavaksi. Sokeat kohdat ovat mallinnettavan objektin pinnan alueita, jotka eivät esiinny vähintään kahdessa valokuvassa.<sup>131</sup> Esimerkiksi Keminmaan Valmarinniemen haudasta 51 tehdyssä mallissa esiintyy jonkin verran aukkoja, jotka ovat todennäköisesti seurausta vähäisestä kuvien määrästä, ja joita Agisoftin manuaalissa nimettiin sokeiksi alueiksi (Kuva 5).

---

<sup>130</sup> Agisoft 2013: 5–6. Fotogrammetriassa työn jälki paranee, jos valokuvauksessa on käytetty tiettyjä helposti omaksuttavia periaatteita, kuten toisistaan poikkeavia kuvakulmia, riittävää kameran tarkentamista sekä valokuvien määrää.

<sup>131</sup> Agisoft 2013: 5.



Kuva 5. Keminmaan Valmarinniemi, hauta 130. Mallissa näkyy mustina nk. sokeat alueet (eng. "blind zone").

Usein kuvien kohde on kaivettu esiin maasta pitkän ajan kuluessa, ja sitä esittävät kuvat on otettu sitä mukaa kuin kaivaukset ovat edenneet. Tämä luo haastetta mallin luomiselle, sillä PhotoScan-ohjelman Align-vaiheessa suorittama yhtenäisten pisteiden löytäminen vaikeutuu. Tämä vähentää ohjelman kykyä muodostaa "sidospisteitä"<sup>132</sup> vaikka näennäisesti kuvissa esiintyykin sama tutkimuskohde.<sup>133</sup> Toisinaan tähän auttoi tekstuuriin liittäminen malliin yhdestä kuvasta, mutta menettelytapa saattoi myös aiheuttaa häiriöitä, jos pintamallista puuttui tarvittavia pisteitä. Yksittäisten valokuvien tekstuuriin<sup>134</sup> liittäminen 3D-mallin pintageometriaan paransi mallin ulkonäköä usein merkittävästi verrattuna usean tekstuuriin liittämiseen. Vaikka valokuvan tekstuuriin liittäminen mallin päälle onnistui, saattoi kuva olla karkea monesta syystä. Mallin päälle tehty tekstuuri muodostetaan useimmiten useasta kuvasta, jolloin malli kirkastuu, tai se saattaa saada tekstuureita malliin kohdasta, joka toisessa valokuvassa oli tarkennettu hyvin, mutta toisessa kuvassa ehkä huonommin. Kohdetta on saatettu myös kuvata eri etäisyyksiltä, eri kulmista ja eri kohtaan tarkentamalla. Tästä syystä visuaalisesti näyttävämpiä malleja tuntui saavan käyttämällä pintatekstuuriin vain yhtä kuvaa. Tämä kuitenkin aiheutti malliin lisää tyhjiä aukkoja.

---

<sup>132</sup> Photoscan käyttää termiä "sparse point cloud", johon ohjelma on laskenut kuvissa esiintyviä yhteisiä pisteitä.

<sup>133</sup> Ks. Liite 2 Malli 1: hauta 4, Malli 7: hauta 51 ja Malli 10: hauta 65 v1. Näistä Keminmaan Valmarinniemen haudoista oli otettu kuvia eri vaiheessa kohdetta esiin kaivettaessa.

<sup>134</sup> Agisoft 2013: 17–19. Photoscanin toiminnan kolmas vaihe.

Yhdestä kuvasta tekstuurit saanut 3D-malli oli usein todentuntuisempi kuin malli, jossa ei ollut tekstuureita, tai malli jossa oli geneerisesti<sup>135</sup> rakennettu tekstuuri. Malleissa, jossa pintatekstuurin teki yhdestä kuvasta, yleisimmät virheet näkyivät niin nivelmitassa, kuin kaivaustunnusta ja haudannumeroa kuvaavissa pahvilapuissa, jos mallin katselukulmaa vaihtoi.<sup>136</sup> Eräs Muhoksen Palokankaan valokuvista luoduista 3D-malleista onnistui muita Palokankaan kohteita selvästi paremmin valokuvakameralla tehdyn tarkennuksen johdosta. Kuvaajan mielenkiinto hiililäikkää kohtaa on ollut ehkä pohjimmainen syy, miksi valokuvia on paljon kyseisestä ilmiöstä. Mielenkiintoiseksi katsottua hiilijälkeä on kuvattu useasta suunnasta, usealta eri etäisyydeltä. Kuvaaja on jopa valokuvannut ilmiön hyvin läheltä maan pintaa, pinnansuuntaisesti kameraa kallistaen (Kuva 6A). Tällainen kuvaustapa heikentää kuitenkin mittaustarkkuutta, sillä ainakin Rönholmin mukaan<sup>137</sup> viistokuvissa linssivirheiden vaikutus on korostuneempi kuin pysty kuvissa. Kuvaa ei ole otettu fotogrammetrian ihanteiden mukaisesti, sillä kuvauksen kohde ei ole kohtisuorassa kuten ilmakuvausissa yleensä otetaan. Fotogrammetrian yhteydessä joudutaan kuitenkin toisinaan kuvaamaan vinoja tasoja. Vino taso kuvautuu terävänä, jos ns. Abbe-Scheimpflugin ehto<sup>138</sup> toteutuu.<sup>139</sup> Ehto on ilmeisesti toteutunut, sillä kuvista luotu malli onnistuu varsin hyvin, luoden ainakin tekstuurin liittäminen jälkeen varsin todenmukaiselta vaikuttavan pintamallin hiiltyneestä kohteesta (Kuva 6B).

---

<sup>135</sup> Kone luo keskiarvon usean kuvan tekstuurien pistearvoista.

<sup>136</sup> Ks. Liite 2: Malli 9.

<sup>137</sup> Rönholm 2003: 15.

<sup>138</sup> Dorrell: 1989: 39. Myös pelkkää Scheimpflugin ehto –termiä (englanniksi Scheimpflug principle) käytetään. Katso myös Dorrell: 1989: Plate 33.

<sup>139</sup> Salmenperä 1983: 4. Ehto määrää sen, miten kuvatason, objektiivin keskitason ja kohdetason tulee leikata samalla suoralla. Katso *kuvakallistusvirheestä ja oikaisusta* esim. Hannu Salmenperä: Fotogrammetrian perusteet s. 23.





Kuva 6: Muhos, Palokangas. Hiiltynyt puu. A) Kuvassa kallistetulla kameralla otettu kuva hiililaikusta. Se oli yksi 3D-mallin tekemiseen hyödynnetyistä valokuvista B) Kuvakaappaus kohteesta luodusta 3D-mallista.

### 3.7. GEOMETRISESTI EPÄONNISTUNEET JA EPÄREALISTISET MALLIT

Osa malleista sisälsi selkeitä epäkohtia. Yleisesti kaivauksilla mittakaavana toimivat mitat, mittakepit, linjaseipäät ja laput ovat esineinä suoraviivaisia, joten niiden pinnalta on välillä helppo huomata geometriset häiriöt silloin kun ne mallissa näyttävät kaikkea muuta kuin suorilta. Tämä herätti kysymyksen siitä, kuinka helppoa yleensä on edes huomata häiriöt mallinnetun kohteen tai esineen pinnasta? Tämä saattaa kertoa siitä, että visuaalisesti onnistuneestakin mallista voi olla vaikeaa erottaa kohtia, joiden kohdalla PhotoScan-ohjelmalla on hankaluuksia mallin luomisessa. Esimerkiksi Keminmaan Valmarinniemen hauta 44 vainajan vieressä ollut haudan numeron esittävä muovilappu ja mallissa irrallaan leijuva ylähammasrivistö on helppo huomata mallintamisvaiheen virheeksi (Kuva 7). Varsinkin hautatunnuksen kertovan paperipalan häiriöt kertovat mielestäni siitä, ettei mittakaava ja hautatunnukset olleet lainkaan mukana 3D-mallin pinnan kuvantamisalgoritmeissa, vaan ne oli liitetty verkkomallin pintaan vasta tekstuurin liittämisvaiheessa. Tämä johtuu yksinkertaisesti siitä, että nivelmittaa ja hautanumeron esittävän muovilapun paikkaa oli vaihdettu valokuvausten välissä. Tällaiset vääristymät eivät siis mielestäni kerro siitä, että koko muu malli olisi yhtä vääristynyt. Se kertoo vain siitä, että kyseinen nivelmitta ei sovellu kovin hyvin kyseisen mallin muuntamiseen tiettyyn mittakaavaan.

Muhoksen Palokankaan yleiskuvia ja kaivaustasoja esittävästä valokuvista luotujen pintamallien pinnanmuodot ovat se verran eriskummallisia, että ne voi huomata epäonnistuneiksi. Uskon kuitenkin, ettei aina ole näin helppoa havaita kohteen ongelmia. Ongelma syntyy, jos kohteen muoto tulee tarkistaa mallista eikä tiedä missä määrin malliin voi luottaa.





Kuva 7. Keminmaa Valmarinniemi. Kaivauksilla valokuvattu yksityiskohta haudasta nro 44 ja siitä luotu 3D-malli. Häiriötä mallissa, esimerkiksi irrallaan leijuvat ylähampaat ja kaartuva hautanumeron esittävä pahvinpala.

Joissain malleissa kuvien vähäinen määrä ilmeni myös mittasuhteiden vääristymisenä; kuvan mittasuhteet näyttävät oikealta vain, jos 3D-mallia tarkastelee kuvanottamiskulmasta.<sup>140</sup> Epäonnistuneita malleja tuli myös kuvista, jotka oli alun perin otettu yleiskuvana. Kohdetta inventoitaessa valokuvista kerrotaan Arkeologian kenttätö -teoksessa näin: *“Käyttökelpoisia ovat kaukaakin otetut kuvat, joissa yksityiskohtia ei näy, mutta joista selviää kohteen sijainti ja ympäristö.”*<sup>141</sup> Vaikka ohjeet oli varsinaisesti tehty inventoimiseen, saa valokuva-aineiston läpi käytyä mielikuvan, että samaa periaatetta käytettiin myös kaivausten dokumentoinnin yhteydessä. Mallintamisen kannalta yleiskuvissa näyttäisi olevan kuitenkin se huono puoli, että niitä on otettu vain yhdestä suunnasta, kameran linssin tarkentaessa jonnekin kaukaisuuteen. Mallintamiseen kaukaa otetut diavalokuvat eivät olleet hyviä, jos malliin halusi lisätä tekstuurit. Tämä johtunee kameran huonosta kuvakulmasta kuvattavaan kohteeseen nähden. Scheimpflugin periaatetta ei ole hyödynnetty, eli kameran tarkkaa

<sup>140</sup> Ks. Liite 2: Malli 17 ja 18. Perspektiivin vääristyminen teki nämä mallit käyttötarkoitukseltaan hyödyttömiksi.

<sup>141</sup> Purhonen & Söyrinki 1973: 42.

kohdentamista ei ole tapahtunut, vaan suuri kuvapinta-ala on varsin epätarkka.<sup>142</sup> Mallia luotaessa olisi mielestäni kuopattava vanha kenttätöoppaan valokuvausohje: *“Aina ei ole mahdollisuuksia tarkoitustaan vastaavaan kuvaukseen (kasvillisuus, sää), eikä filmiä kannata tuhjata toivottomiin tapauksiin.”* Parempi olisi mielestäni muistaa samaisen teoksen toinen ohjenuora: *”Toisaalta on hyvä muistaa, että kunnollisia muinaisjäännöskuvia ei koskaan ole liikaa.”*<sup>143</sup>

---

<sup>142</sup> Dorrell 1989: 39.

<sup>143</sup> Purhonen & Söyrinki 1973: 41–42.

## 4. 3D-MALLIEN HYÖDYNTÄMINEN JA TULKINTA

Tässä kappaleessa esittelen havaintoja, jotka tein mallientekoprosessin aikana, sekä pyrin löytämään 3D-mallien potentiaalin. Työn myötä erilaisia hyödyntämiskeinoja on tullut esiin, ja osia niistä on esitelty jo aikaisemmissa tutkimuksissa. Tohtori Jeroen De Reun tutkimusryhmä on esittänyt, että käyttämäni valokuviin perustuva 3D-mallintamismenetelmä voi olla erinomainen ja sopiva menetelmä tallentamaan, dokumentoimaan sekä visualisoimaan kaivettua arkeologista kulttuuriperintöä. Samalla he ovat esittäneet, että haasteita ohjelman käytölle tuo se, miten menetelmä muuttaa työnkulkua kaivauksilla ja jälkityövaiheessa.<sup>144</sup> Yksi tutkielman tutkimuskysymys oli, onko perinteinen valokuvadokumentointi riittävä mallien luomiseen. Olen onnistunut tekemään kolmiulotteisia malleja kaivetuista kohteista, joten vastaus on kyllä. Toinen tutkimuskysymys, mitä mallista on hyötyä, on haasteellisempi vastata. Luomani mallit jäävät tarkkuudessa jälkeen, kun verrataan varta vasten PhotoScan ohjelmaa varten otettuja kuvia. De Reun tutkimusryhmän ottamat valokuvamäärät olivat huomattavasti suurempia; samasta kohteesta otettiin kymmeniä, jopa kolmesataa valokuvaa, kun kohde mallinnettiin neljässä eri työvaiheessa.<sup>145</sup> Malleissa esiintyvät virheet ja kohteiden erilaisuus pakottivat pohtimaan mallien hyödyntämistä monesta näkökulmasta. Hyödyllisyys oli tiukasti riippuvainen mallin onnistumisesta, mutta mallin onnistuminen ei aina takaa sen hyödyllisyyttä. Mielestäni onnistuin tekemään malleja, joista voisi olla hyötyä usealla eri tavalla: syvyyden hahmottamisessa, mittaamisessa, visuaaliseen esittämiseen, sekä ortokuvien tekemisessä.

### 4.1. SYVYYDEN HAHMOTTAMINEN

Yksi mielestäni tärkeimmistä hyödyntämiskeinoista on realistisen syvyyden hahmottaminen 3D-mallista. 3D-malleilla on potentiaalia toimia tulkinnan apuvälineenä pelkkiä valokuvia paremmin, sillä maakerrosten suhde rakenteisiin ja muihin löytöihin on selkeämpää. 3D-mallista tehdyn tulkinnan mahdollisuuksia lisäävät alueesta otetut useat kuvat, joista tehdyssä pintamallissa painanteet ja maastonmuodot voivat erottua valokuvia paremmin. Tästä esimerkkinä on Keminmaan Valmarinniemen haudasta numero 130 tehty 3D-malli (s. 44, Kuva 8A), joka herättää lisäkysymyksiä. Onko pintamallista hahmottuva painanne toinen lapsi? Lapsen vanhemmiksi tulkittavissa olevat hahmot ovat lisäksi haudattu asentoon, jossa

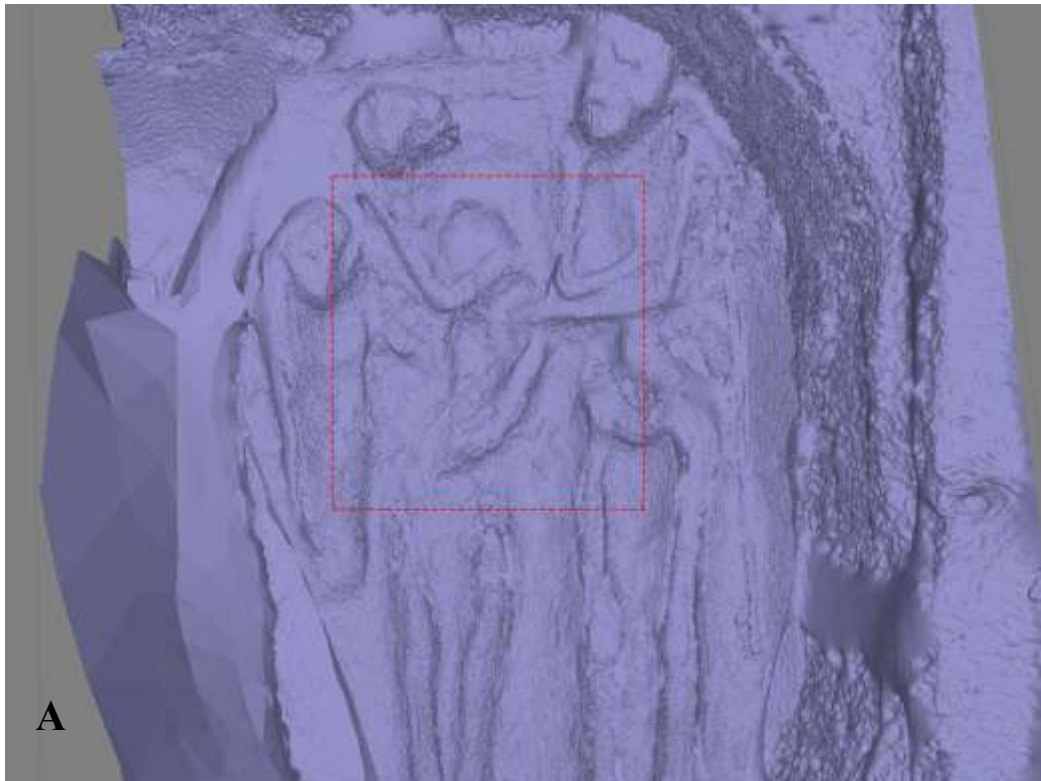
---

<sup>144</sup> De Reu et al. 2014: 260.

<sup>145</sup> De Reu et al. 2014: 254.

heidän kätensä menevät lomittain. Hahmojen raajat erottuvat varsin hyvin 3D-mallissa, vaikka ovat myös hieman tulkinnanvaraisia. Ruumiin hautausasento ja käsien sijainti ruumiiseen nähden näkyy kolmiulotteisesta kuvasta mielestäni paremmin kuin valokuvasta (Kuva 8B). Esimerkiksi Valmarinniemen haudasta numero 130 luodusta mallista voi mielestäni havaita neljä vainajaa, koska käsien asennot näkyvät tumman tekstuurin lisäksi painanteina ja pinnasta kohollaan olevina kohtina 3D-mallissa.

Mallit mahdollistavat uudenlaisen lähestymistavan arkeologiseen esittämiseen, mutta myös auttavat meitä keräämään talteen dataa monipuolisemmin, kamera kun tallentaa myös sen, mihin ihmissilmä ei välttämättä kiinnitä huomiota kaivausten aikana. Arkeologisessa dokumentoinnissa maakerrokset monesti yksinkertaistetaan, jolloin sekavammat maayksiköt voivat muuttua raportissa selkeämmäksi, mutta samalla enemmän tulkinnanvaraisiksi. Mallit rakentuvat PhotoScan ohjelmalla siten, että ohjelma laskee useasta valokuvasta geometrisia suhteita, jotka ohjelma pyrkii säilyttämään ennallaan lopullisessa mallissa. Näin esimerkiksi rakenteissa näkyvät kivet ja puut pysyvät kokonsa puolesta suhteessa muihin kuvissa näkyviin mitattaviin kohteisiin kuten luihin ja esineisiin. Esimerkiksi kivirakennetta kuvattaessa, erikokoiset kivet pysyvät suhteessa toisiinsa, ja mallista voi vertailla vaikkapa rakenteen mahdollisten eri kerrosten koko- ja mittasuhteita.



**A**



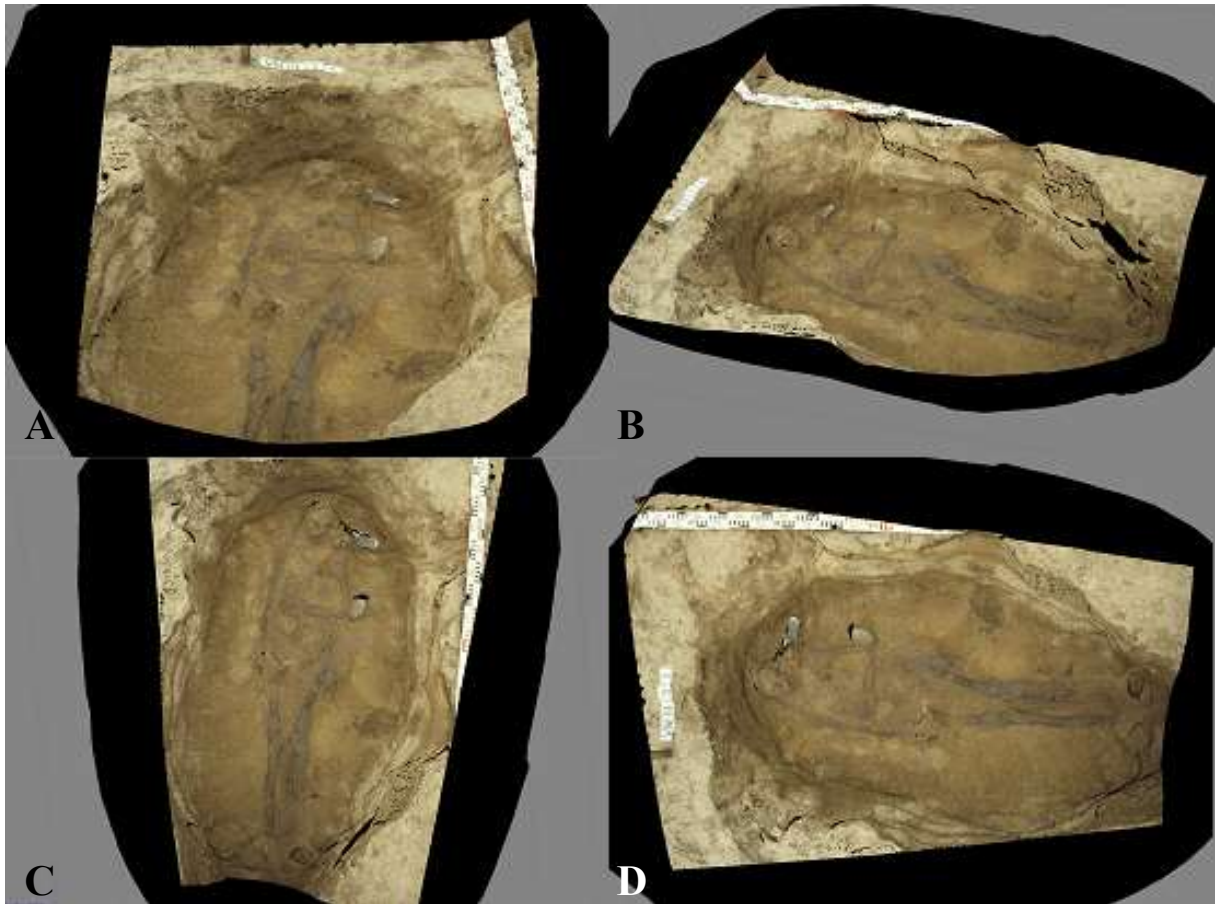
**B**

Kuva 8. Keminmaa, Valmarinniemi, Hauta 130. A) Kuvassa 3D-malliin muodostunut mielenkiintoinen yksityiskohta. Hauta on aikaisemmin tulkittu kolmen ihmisen haudaksi, mutta kahden suuremman vainajan asento ja väliin jäävä painanne (keskellä) voisi mielestäni viitata neljänteen, vauvaikäiseen vainajaan. B) Sama kohta valokuvassa Kuvan lähde: Oulun yliopiston arkeologian laboratorion kuva-arkisto: Kuva nro 7759.

Visuaalinen esittäminen on lähempänä todellista kun sen tekee kolmiulotteisena, siitä yksinkertaisesta syystä, että kaksiulotteinen paperi tai valokuva ei pysty esittämään kolmiulotteisen maailman kaikkia puolia. Usein arkeologille on kuitenkin tapana yksinkertaistaa, jotta huomio kiinnittyisi johonkin haluttuun arkeologiseen yksityiskohtaan. Tämä näkyy vaikkapa piirroksissa. Tämä vaatii kuitenkin realismin vähentämistä, arkeologista tulkintaa ja “arkeologista silmää”. Mallista hahmottaa myös nopeammin maan pinnan vaihtelut, verrattuna vaaituskartassa oleviin numeroarvoihin. Tässä nouseekin kysymys visualisoinnin ongelmista, joita arkeologinen kaksiulotteinen dokumentointi tuo mukanaan. Malleissa voi hahmottaa valokuvaa paremmin erilaiset ihmisen toiminnasta syntyneet painanteet, sillä 3D-malleihin tulee mukaan suhteellinen mittakaava, joka kertoo ihmissilmälle pinnanmuodot. Esimerkiksi Keminmaan Haapamaan röykkiön tulkitut ryöstökuopat oli mielestäni havaittavissa 3D-mallista, mutta en niitä huomannut valokuvien perusteella (Ks. Liite 2: Malli 24)<sup>146</sup>.

---

<sup>146</sup> Mielestäni yksittäisistä valokuvista oli erittäin vaikea hahmottaa kuopat kivikossa, sillä kivien kokoerot häiritsivät mittasuhteiden hahmottamista. Kolmiulotteisessa tietokonemallissa kuopat hahmottuivat nopeasti, kun mallia pystyi tarkastelemaan eri kulmasta, ja liikutettaessa mallia, siinä pystyi näkemään erilaisia kuoppia.



Kuva 9: Keminmaa, Valmarinniemi. Hauta 51. Valmiin 3D-mallin tarkastelua useasta eri kulmasta. Suurin osa malliin käytetyistä kuvista otettu kuvan A suunnasta. Tästä syystä siinä ei näy paljoa aukkoja paikkoja. Kuvassa B näkyy aukkoja kaivausalueen reunalla.

Kaikenlainen skaalaus helpottuu, kun kohdetta voi mallin avulla katsoa läheltä, tai kaukaa. Arkeologiseen kohteeseen mahdollisesti sisältyvät säännönmukaisuudet voivat tulla näkyviin tai tulla ilmeisiksi tutkijalle, kun sitä tarkastelee tietyn välimatkan päästä tai tietyltä etäisyydeltä.<sup>147</sup> Kohteiden tarkastelu eri etäisyyksiltä, ja eri suunnista on tehty varsin helpoksi kolmiulotteisia tiedostoja aukaisevilla ohjelmilla (Kuva 9).

Mallin tarkastelu useasta eri kuvakulmasta tuo uutta arkeologiseen tulkintaan. Kuvakulman vaihto helpottaa kohteen hahmottamista, verrattuna kahden eri valokuvan katsomiseen. Katselukulmaa vaihtamalla näki mielestäni paremmin Keminmaan Valmarinniemen haudan 75 luurangon ja maan pinnanmuodon, ja tämä helpottaa luurangosta tehtävien ääriiviipiirroksen tekemistä, kun luumateriaali on helpompi erottaa maa-aineksesta. Menetelmä ei ehkä tarkkuudeltaan korvaa *in situ* tehtyä piirrosta, mutta se lienee nopeampi

<sup>147</sup> Lock 2000: xviii–xxi.

keino kuin kynällä tehty piirros mittojen ja piirustuskehikon avulla. Valokuvan ottamisen jälkeen vainajan kaivamista voi jatkaa, kun perinteisillä menetelmillä suoritettavan dokumentoinnin aikana kaivaminen on lopetettava. 3D-mallia on mahdollista tarkastella myös sellaisista kulmista, joista valokuvaa ei ole otettu; tosin kohteen pintaa koskevan informaation tulee kuitenkin löytyä valokuvista.

## 4.2. MITTAAMINEN

Usea 3D-malli oli mahdollista skaalata mittakaavaan.<sup>148</sup> Keminmaan Kiimamaan röykkiön skaalaamisen jälkeen 3D-mallin pintaan pystyi asettamaan pisteitä Agisoft PhotoScanissa, ja piirtää janoja pisteiden välille (Kuva 10). Ohjelma osasi laskea piirrettyjen janojen pituuden. Röykkiön lisäksi, esimerkiksi Keminmaan Valmarinniemen vainajien luiden mittaaminen 3D-mallista oli helpompaa ja luotettavampaa verrattuna kaksiulotteiseen valokuvaan. Muita kokeilemisen arvoisia mittauksia mallista voisivat olla korkeus, etäisyys ja pituus, sekä tilavuus. Mikäli näitä mittoja voi määrittää luotettavasti mallista, voi se tulevaisuuden kenttätöissä vähentää käsin piirretyn dokumentoinnin tekemiseen käytettyä aikaa.

Esimerkiksi Keminmaan Valmarinniemellä ruumishaudat kaivettiin stratigrafisesti niitä varten alun perin kaivettujen hautakuoppien mukaisesti, joten PhotoScanilla luoduista 3D-malleista voisi tutkia onko hautojen tilavuuksissa vaihteluita. Jotkin 3D-malleista sisälsivät haudatun vainajan mallin lisäksi tietoa hautakuopan koosta. Jos valokuvaaja oli ottanut kuvan haudan reunalta, eikä kamera ollut tarkentanut pelkästään vainajaan, tuli haudan reunan profiili kuviin mukaan. 3D-mallista voi siis lähtökohtaisesti laskea hautakuopan tilavuuden,<sup>149</sup> joten hautakuopan tilavuuden vertaaminen vainajien välillä voi olla mahdollinen tutkimuskohde. Käytännössä tilavuuden laskemiseksi tarvitaan jokin muu ohjelma kuin Agisoft Photoscan, esimerkiksi avoimen lähdekoodin alainen sovellus, Meshlab<sup>150</sup>, lisäksi 3D-mallin tulee tilavuuden laskemiseksi olla aukoton ja suljettu kokonaisuus. Aukkojen hävittäminen Keminmaan Valmarinniemen 3D-malleista kuitenkin epäonnistui, joten tilavuuden laskeminen ei onnistunut.

Erilaiset mittaamiset voi suorittaa mallista, jos malli on saatu siirrettyä mittakaavaan. Valokuvista tehdyt mittaamiset eivät ole niin tarkkoja, sillä kameras kuvaa luoda kuva-alan reunoille vääristymiä. Lisäksi yhdestä kaksiulotteisesta kuvasta voi olla vaikea saada oikeita

---

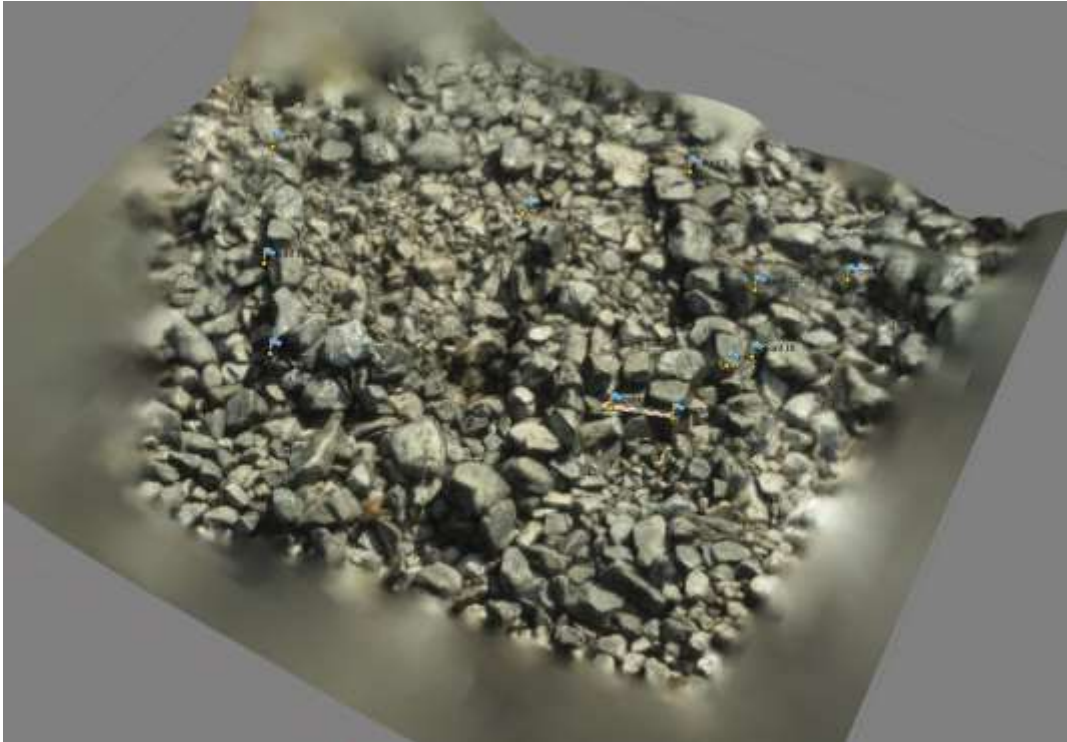
<sup>148</sup> Ks. Liite 1: Taulukko.

<sup>149</sup> Ks. Liite 2: Mallit 7, 8, 9 ja 12

<sup>150</sup> Ohjelman pääkehittäjinä ovat toimineet italialaiset ISTI-CNR –instituution tutkijat. (Meshlab 2016.)



mittasuhteita, jos kohteen sisäiset mittasuhteet eivät ole tiedossa tai tallennettu esim. takymetrillä. Juuri tähän tarkoitukseen kolmiulotteiset mallit soveltuvat, nimittäin erilaisten mittojen laskemiseen pinnoista, jotka eivät ole kaksiulotteisia. Myös ortokuvissa mittojen määrittäminen onnistuu, mutta kartan tavoin kaksiulotteisesti, ja myös siitä voi kartan tavoin laskea etäisyyksiä. Periaatteessa 3D-mallista voisi myös tehdä jopa tasokartan jälkitöissä, ja verrata sitä käsin piirrettyyn. En kuitenkaan onnistunut tekemään kaivaustasoista mielestäni riittävän tarkkoja malleja, joten jätin tasokartan tekemisen pois tästä tutkielmasta.



Kuva 10. Keminmaa, Kiimamaa. Malli 25. Kohteen pinnalle on helppo asettaa pisteitä, esimerkiksi Agisoft Photoscan ohjelmalla (Kuvassa näkyvät pienet siniset liput). Pisteiden välille pystyy piirtämään janoja, joiden pituuden ohjelma osaa laskea.

### 4.3. VISUAALINEN ESITTÄMINEN

Arkeologisen tiedon esittämisessä sekä sen tuomisessa yleisön nähtäville on havaittavissa kehitystä. Esimerkiksi Norjan Skaunissa löydettiin vuonna 2014 viikinkihauta, joka kuvattiin ja mallinnettiin fotogrammetrian keinoin (Kuva 11). Linkki löydöstä tehtyyn malliin jaettiin siitä kiinnostuneille Norjan teknis-luonnontieteellisen yliopiston tutkimusuutisia julkaisevalla Gemini.no-verkkosivuilla. Malli on 3D-pdf-tiedosto, jonka voi avata esimerkiksi Adoben Acrobat -ohjelmalla. Mallia voi tarkastella eri kulmista.<sup>151</sup> Mielestäni norjalaisten keino tuoda

---

<sup>151</sup> Gemini 2015. Verkkouutinen viikinkikilven ja miekan löydöstä ja mallintamisesta.

3D-mallit yleisölle on hyvä keino näyttää ja visualisoida arkeologista kenttätyötä yleisön tietoisuuteen. Lisäksi mallien käyttö voi auttaa arkeologeja myös esitelmöinnissä visuaalisena apuvälineenä. 3D-mallilla voi näyttää kaivauksiin osallistumattomille tarkempaa kuvaa niistä tilanteista, joihin tutkijan tekemät tulkinnat ovat pohjautuneet. Valokuvista ei saa samalla lailla irti asioita kun mitä mallilla voi saada; esimerkiksi pinnanmuotojen ja stratigrafisten yksiköiden suhteet rakenteisiin on helpompi määrittellä kolmiulotteisesta kuvasta.



Kuva 11. Skaun, Norja. ”Viikinkimiekasta” ja löytökontekstista luotu 3D-malli. NTNU University Museum.

Eräs mahdollisuus voi olla erilaisten muinaisjäännostyypin esittely, kun todellista tilannetta hyvin visuaalisesti kuvaava asumuspainanne voidaan 3D-mallin avulla esittää suuremmalle yleisölle. Mallien kautta on mahdollista saada parempi kuva siitä, miltä painanteet näyttävät luonnossa, kun valokuvista syvyyšnäkymää ei ole tai sitä voi olla vaikea hahmottaa.

Mallin muokkaaminen tuo apukeinoja esittämiskeinoihin sekä arkeologiseen tulkintaan. Siihen pystyy liittämään monenlaisia kolmiulotteisia tiedostoja. Esimerkiksi mallin pystyy elävöittämään vaikka puustoa, kalliota tai muuta ympäristöä kuvaavalla materiaalilla. Kuvaa voi muokata korostaen heikommin näkyviä värisävyeroja. Esimerkiksi De Reun tutkimuksissa 3D-mallin eri kaivauskerroksia yhdistämällä näkyy, miten kaivausalueella syvemmälle mentäessä, kohteen arkeologiset ominaisuudet tulevat paremmin näkyviin.<sup>152</sup>

---

<sup>152</sup> De Reu 2013b: 206–207. Katso Fig 1.

Myös valokuvia voidaan muokata, mutta mallin muokkaaminen voi tuoda tilavuudellista näkökulmaa. Mallin avulla voi tarkastella kohteen liittymistä ympäröivän alueen pintamalliin, esimerkiksi erilaisten leikkausten avulla (Kuva 12). Erilaisista rakenteista luodun mallin voi myös pilkkoa osiin, pinnan leikkaukset esittäviksi, jolloin vaikkapa haudan eri osista tehtyjä leikkauksia voisi verrata keskenään. Tämä voisi soveltua esimerkiksi haudan pohjan ja reunojen profiileiden muodon vertaamista toisiinsa. Esimerkiksi onko hautakuoppa ollut arkun muotoinen, neliö, tai ovatko reunat olleet suorat tai viistot, ja näiden keskinäinen vertailu. Haudoista luotujen geometrinen mallien ominaisuudet ovat helpommin verrattavissa kuin kaksiulotteisten haudaa kuvaavien piirrosten avulla.

Kun kohteesta voi tehdä poikkileikkauksia kohteen ulko-, ja sisäpuolelta, voivat poikkileikkaukset tuoda pinnanmuodot tarkempaan tarkasteluun. Poikkileikkaus vaikkapa röykkiöstä, keittokuopasta tai muusta rakenteesta voi tuoda tarkkaa tietoa, mahdollistaen rakenteiden tarkemman mittaamisen useasta eri pisteestä. Poikkileikkauksia ei voi tehdä Agisoftin Photoscan-ohjelmalla, joten käytin Breuckmannin Optocat-sovellusta.



Kuva 12. Keminmaan Valmarinniemi, hauta 130. Tehtyä 3D-mallia voi tarkastella esimerkiksi tekemällä kohteesta useita poikkileikkauksia esimerkiksi Breuckmann Optocat -ohjelmalla.

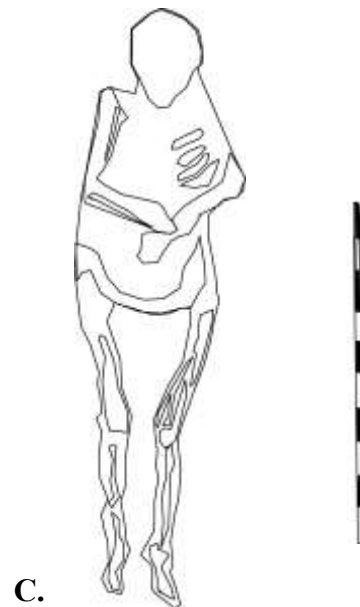
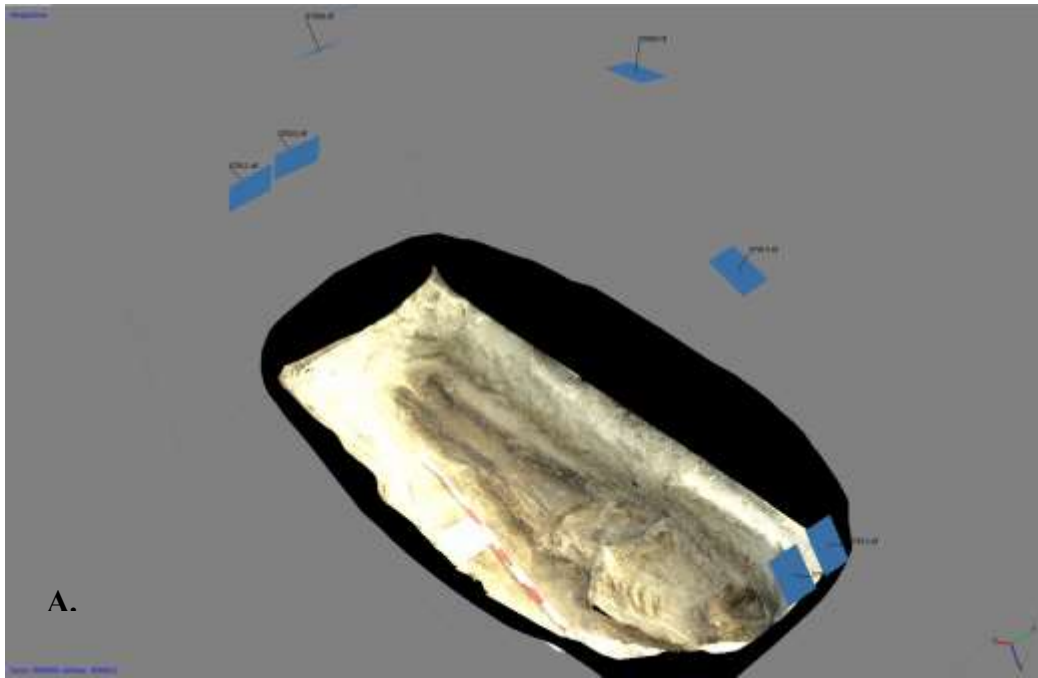
#### 4.4. ORTOKUVAN TEKEMINEN

Kaivausten yleiskuvista tehdyt pintamallit enimmäkseen epäonnistuivat, joten niistä ei mielestäni voinut tehdä luotettavaa ortokuvaa, sillä ortokuvan luomiseen tarvitaan pisteet kohteen pinnanmuodoista. Haudoista tehdyt 3D-mallit onnistuivat paremmin, joten päätin yrittää ortokuvan tekemistä haudasta. Ortokuvan tekeminen ohjelmalla onnistui noin puolessa tunnissa. Ohjeet ortokuvan tekemiseksi Agisoftin Photoscan Professional –ohjelmalle löytyy Agisoftin verkkosivuilta<sup>153</sup>. Suoraan haudan yläpuolelta ei ollut otettu kaivauksilla valokuvaa (Kuva 13A), mutta PhotoScan onnistui tekemään ortokuvan (Kuva 13B), jota voisi hyödyntää vaikka mittaamiseen suoraan kuvasta. Kokeilin myös vainajan asennon hahmottelua tasopiirroksiksi. Tulkitsin vainajan ääriviivat ja osia luun jäännöksistä ortokuvasta (Kuva 13C). Hahmotelman tein Adoben Photoshop-ohjelmalla. Havaitsin, että ortokuva voisi soveltua periaatteessa tasokartan tekemiseen ja sitä voisi verrata käsin piirrettyyn.

Ortokuvan tekemisen jälkeen ortokuvaa pystyi tarkastelemaan 3D-pintamallin tapaan, tai tuomaan yleisesti toimivaan TIFF-muotoon, jolloin tiedostomuotoon sai säilytettyä ilmakuvaan vastaavan perspektiivin, tai haluamaansa suuntaan kallellaan olevan kuvan. Vainajaa on hyvä tarkastella ylhäältäpäin, esimerkiksi ääriviivojen piirtämiseksi, mutta esimerkiksi kaivausalueen sivuprofiilin tallentamiseksi kyseisellä menetelmällä pitää katselukulmaa muuttaa. Tämä tapahtuu Export Orthophoto -valikosta kohdasta Projection plane: current view. Tällöin Agisoft Photoscan laskee ortokuvan ominaisuudet katselukulmaa vastaavaksi.

---

<sup>153</sup> Agisoft Tutorial: <http://www.agisoft.com/index.php?id=28>. Luettu 24.4.2016.



**B.**

**C.**

Kuva 13: Keminmaa Valmarinniemi, Hauta 75. A) Valokuvien perusteella luotu 3D-pintamalli. Mallissa näkyy kameran sijainti valokuvan ottohetkellä. Siitä näkee ettei haudasta ollut suoraa ylhäältä päin otettua valokuvaa. B) PhotoScanilla luotu ortokuva haudasta 75. A). Vainajasta luotu nopea demonstraatio ortovalokuvan hyödyntämiskeinoista: vainajan ääriviivat ja asento. Mittana toimivan mittakepin pituus on 1 metri.

## 5. POHDINTAA

Tiedon jakaminen arkeologien kesken voi olla haastavaa. Jos kohde on suuri, hauras tai muuten kallisarvoinen, tulee tutkijan matkata kohteen luokse. 3D-mallien ja virtuaalitodellisuuden kautta mallin kohteesta voi lähettää tutkijalle. Lisäksi mallin pystyy kopioimaan, ja sitä pystyy muokkaamaan. 3D-materiaalin kopioiminen voi myös olla hyödyllinen ominaisuus, sillä näin usea tutkija pystyy tulkitsemaan samanaikaisesti malleista. Mielestäni yksi hienous menetelmässä on, että fotogrammetrisesti kuvattujen valokuvien säilyttämä tieto on pakattu hyvin tiiviiseen muotoon, ja PhotoScanin kaltaisten ohjelmien kautta datan saa valokuvista helposti kahdella silmällä tarkoitettuun, eli kolmiulotteiseen muotoon. Visualisoinnissa, tekniikka parantaa ihmisen kykyä hahmottaa, miltä muinaisesineet näyttävät luonnollisessa ympäristössään eikä vain mustavalkoisena ääriivapaperilla. Varsinkin, jos ei-arkeologeja käytetään inventoinnin tai kaivauksien apuna, voisi 3D-mallien avulla näyttää miltä kohteet näyttävät luonnossa. Malleista on helpompi havaita kumpareita ja maan pinnan muotoja pelkkiä valokuvia paremmin, eivätkä kartan korkeuskäyrät kuvasta pinnan muotoja yhtä tarkasti.

Kun kolmiulotteisuuden vaikutuksen saa helposti ja kohtuullisen lyhyessä ajassa, voi mallien luominen mielestäni tapahtua muiden jälkitöiden ohessa. Jos lasketaan arkeologin koneella työskentelyyn menevä aika, on se verrattain lyhyt, sillä suurin aika menee koneen itsenäisesti tekemiin laskelmiin, eikä sitä tarvitse valvoa. Jos kaivauksilla hyödynnettäisiin tietynlaisia yhteneväisiä, mallintamiseen soveltuvia valokuvaustapoja, voi mallin luominen onnistua entistä suuremmalla todennäköisyydellä. Tämä vaatisikin, että arkeologit paremmin tiedostaisivat, mihin ja miten kuvia voi hyödyntää myös jälkikäteen. Tietoisuuden lisäämisen voi aloittaa tutkielmien tekemisellä sekä artikkeleilla, kuten Debenjak on tehnyt Muinaistutkijan artikkelissaan ja kandidaatin tutkielmassaan.<sup>154</sup>

Malleja luodessa oli mahdollista siirtää malleja mittakaavaan usealla eri tavalla. Malleja varten ei välttämättä tarvitse aurata kaikkia ämpäreitä, kaivauslastoja tai varsinkaan mittakeppejä pois valokuvia otettaessa, vaan ne voivat tuoda malliin yksityiskohtia, jolla malli saadaan liitettyä metriseen koordinaatistoon. Tämä oli kuitenkin mahdollista vain silloin, jos eri suunnasta otettujen kuvien välillä ei ollut siirrelty ämpäreitä tai muuta välineistöä, muuten ne eivät jättäneet pintamalliin jälkiä. Jos valokuvat kohteen tilanteesta otetaan yhdellä kertaa,

---

<sup>154</sup> Debenjak 2014 ja Debenjak 2015.



yhdenmukaistaisi se valokuvausolosuhteita, esimerkiksi auringonvalon määrän ja varjojen suunnat. Lisäksi se tarkentaisi 3D-mallin tarkkuutta ja muodostumista, kun siinä ei ole tapahtunut muutoksia, kuten uusia, myöhemmin esiin kaivettuja kohtia tai vaikkapa kohteen päälle ei ole varissut hiekkaa. Yksi hyvä keino mallin saamiseksi mittakaavaan kuvien avulla voisi mielestäni olla kaivausalueelle maahan lyötävät puiset paalut. Näin paalut pysyisivät paikoillaan, eivätkä ne pääse liikahtamaan kuvien ottamisen välillä.

Kolmiulotteisen mallin lopputulokseen tuntui jossakin määrin vaikuttavan kuvaajan into ottaa kuvia. Mitä useampi kuva kohteesta oli, sen todennäköisemmin mallin muodostus kohteesta onnistui. Pienimuotoisemmilta ja vähälöytöisemmiltä kaivauksilta Muhoksen Palokankaalta oli vähemmän kuvia. Kuvattavien kohteiden vähäisyys tai puuttuminen oli ehkä seurausta tunteesta, ettei ole mitään dokumentoitavaa.<sup>155</sup> On totta, että kehitetyt ja kehittämättömät valokuvat vievät aina fyysisesti tilaa arkistoissa, ja että kuvauksella pitää olla kriittisesti arvioitu funktio. Digitaalisten kuvien mukaantulo on kuitenkin vähentänyt kuvien viemää tilaa, sillä nykyiset kovalevyt vaativat varsin vähän fyysistä tilaa. Arkeologian laboratorion valokuva-arkistoa läpi käymällä voi nähdä mitä on kuvattu, mutta on vaikeampi selvittää, miksi kohteet on valittu kuvattaviksi, ja mikä on vaikuttanut kuvauskulmaan ja tapaan. Uuden fotogrammetrisen menetelmän käytön mahdollisesti lisääntyessä, on mielestäni paikallaan päivittää arkeologisen valokuvaamisen käytännöt, ja kehittää valokuviiin pohjautuvaa dokumentointia opastamalla uusia dokumentoijia kohteen näkemistä mallin luomista silmällä pitäen. Tekemäni tutkielma osoittaa, että malleja voi tehdä jo nyt tiedossa olevilla valokuvaamisen käytännöillä, vaikka hiomisen varaa löytyykin.

## **5.1. MALLINNUKSEEN SOPIVIA ARKEOLOGISIA KOHTEITA**

Työn edetessä hahmottui kuva siitä, millaisia kohteita arkeologit ovat kuvanneet mallintamista hyödyttävällä tavalla. Mallien onnistuminen on omalta osaltaan riippunut myös niistä ominaisuuksista, joita kuvauskohteella on. Tällaisia ominaisuuksia ovat vaihteleva *pinnanmuoto*, *kiiltämätön pinta*, *vaihtelevat värisävyt ja kontrasti*. Kuvattavan kohteen ominaisuuksien lisäksi myös valokuvien määrä on riippunut kohteen ominaisuuksista. Suuret kohteet kuten röykkiöt on usein kuvattu useammalla kuin yhdellä kuvalla.

---

<sup>155</sup>Takala 1998: 166.

Eräs parhaimmista mallinnettavista kohteista näyttäisi olevan eri-ikäiset ja -kokoiset *kivirakennelmat*. Nämä ihmisen eri aikoina rakentamat rökkiöt, kellarit, uunit, kivijalat, kiveykset ja muut latomukset vaikuttaisivat varsin lupaavalta fotogrammetriaa ajatellen. Keminmaan Kiimamaan ja Haapamaan rökkiökaivauksilla on toimittu järjestelmällisesti ja kivet on purettu samanaikaisesti näkyviin ilmestyviä rakenteita silmällä pitäen.

Mallintaminen näyttäisi sopivan myös *puurakenteille*. Erilaiset kaivauksilla löytyneet vanhat hiiltyneet puut ja hiililäiskät, kalkkiuunin pohjavene ja –puut, katiskat ja kellarin puuosat. Kaivot olisi mahdollisesti mallinnettavissa, mutta niiden kuvaaminen tarvitsee enemmän suunnitelmallisuutta, sillä kaivoon pitäisi laskeutua ottamaan kuvia myös sen kaivamisen loppuvaiheessa. Ainakin Oulun 1986 NMKY:n tontin kaivauksilla löytynyt kaivo puurakenteineen on kuvattu aina samasta paikasta kaivausten edetessä usealla kuvalla, aina kuitenkin ylhäältä käsin. Kaivon syvyyden vuoksi kuvia tulisi ottaa myös kaivon sisältä kaivon suurta rakennepinta-alaa vasten.

Ihmisjäänteet ovat kolmas mallintamiseen soveltuva kohde. Ihmisjäänteiden kuvaamisessa ongelmallista on varmastikin luun huono säilyvyys Suomen maaperässä<sup>156</sup>. Luita ei voi kaivaa aina kerralla kokonaan näkyviin, ja ottaa lopussa kuvaa, sillä maatuneen luun vahingoittumisen riski on suuri. Tämä ehkä lisää halua ja painetta valokuvadokumentointiin, mikä kasvattaa kuvien määrää, mutta samalla otetaan kuvia myös kaivausteknisten välivaiheiden välissä. Suosittelisin kuitenkin että valokuvat tulisi ottaa ryppäittäin, eikä silloin tällöin kuva tai kaksi.

Malleja voi syntyä myös tasoista. Parhaiten mallintaminen hyödyttäisi mielestäni nimenomaan tutkittaessa kohdetta yksikkökaivauksena, sillä silloin malliin tallentuvat kaivajan näkemyksen ja käden taidon kautta stratigrafisten yksikköjen pinnanmuodot. Tällöin voidaan dokumentoida kaivettujen maakerrosten tilavuus. Tasokaivauksesta, jossa on kaivettu viiden sentin kerroksia, katoaa kolmiulotteisuuden mukanaan tuoma hyöty havaita poikkeamia pinnan tasossa. Silti tasokaivauksiltakin tehty malli voi auttaa vaikkapa kaivauskartan tekemistä, kun PhotoScan-ohjelman tekemä pintamalli pyrkii säilyttämään kuvatusta kohteesta saadun alkuperäisen tekstuurin väriarvot. Ikävä kyllä kaivaustasojen valokuvaaminen on haasteellisempaa. Menetelmällä saa tehtyä tasoista kuvia, mutta ilmeisesti kuvien määrän täytyy olla suurempi kuin mitä minun malleihini käyttämissä kohteissa. Tämän

---

<sup>156</sup> Sundell & Putkonen 2011: 57.



vuoksi en saanut vanhoista kaivaustasoista otetuista kaivauskuvista tehtyä kelvollisia pintamalleja.

## 5.2. YLEISIÄ OHJEITA MALLINTAMISEEN SOVELTUVIEN VALOKUVIEN OTTAMISEKSI

Valokuvien ottamisesta ja niiden käytöstä arkeologian jälkitöitä varten on käsitelty joissain opaskirjoissa<sup>157</sup>. Esimerkiksi *Arkeologin valokuvausopas* ei kuitenkaan opastanut siihen, miten kohteet tulisi kuvata jotta kuvia voisi parhaiten hyödyntää. Sen voi nähdä enemmän oppaana kameran ominaisuuksista. Valokuvien ottamisessa on painotettu, ehkä liiaksi, kuvaajan omakohtaisesti omaksumaa kuvaustyyliä, ilman että itse kuvien hyödyntämistä on mielestäni pohdittu. Arkeologian kenttätyöt –kirjasta löytyy ohjeita yleisen dokumentoinnin tekemiseksi: “...yksityiskohdat jotka kaivajan pitäisi tietää kaivauksen jälkeen: 1) haudan suunta 2) haudan koko 3) hautakuopan syvyys maan pinnasta ja humuskerroksen rajasta 4) mahdollinen kiveys ja sen sijainti 5) arkku 6) hiiliesiintymät 7) löydökset täyttemaasta, esim. rautakuona 8) vainajan asema ja asento 9) esineiden sijainti 10) haudan sijainti muihin hautoihin nähden”<sup>158</sup>. Näistä hyvä 3D-malli pystyy vastaamaan useimpaan, jos malliin vaadittavat kuvat on otettu muissakin kaivauksen vaiheessa, eikä pelkästään hautaa pohjaan kaivettaessa. Kuvauskulmaa vaihdettaessa tulisi pohjoisnuolen olla liikkumatta, jotta myös suunta dokumentoituisi malliin. Olisikin hyvä ottaa kaivauksen eri vaiheessa kuvia niin sanotusti nipuittain, keskeyttää työt hetkeksi ja ottaa tilanteesta useampi kuva eri kulmasta, ilman liikkuvia kohteita.

Haudat valikoituivat mallintamisprosessiin esimerkkitapaukseksi osittain vahingossa, mutta ne osoittautuivat varsin kelvollisiksi. Syitä siihen, miksi haudoista sai tehtyä malleja paremmin kuin esimerkiksi kaivaustasoista, on syytä pohtia. Mikä vaikuttaa siihen, mistä kohteista mallit onnistuvat, mistä ei? Ilmiselvin syy on se, että vainajista on otettu ja ehkä myös haluttu ottaa paljon kuvia. En tiedä, onko tiedostettu että yksi kuva ei talleta kaikkea haudan yksityiskohtia ja pinnanmuotoja vai onko haluttu dokumentoida mahdollisimman tarkasti, sillä vainajaa on pidetty tavallista tärkeämpänä löytönä. Kaivauksilla, jossa kaivettiin tasoja tai kaivausyksiköitä ilman suurempia löytöjä, valokuvaaminen vaikuttaisi olleen vähäisempää. Luotettiin ehkä piirtäjän tulkintaan kaivausalueesta, jossa oli vähemmän

---

<sup>157</sup> Esimerkiksi Purhonen & Söyrinki 1973; Takala 1998.

<sup>158</sup> Purhonen & Söyrinki 1973: 160.

yksityiskohtia vai otettiin vähemmän kuvia, koska ”mielenkiintoiset” yksityiskohdat eivät olleet niin ilmeisiä, tai selkeästi havaittavissa kuin haudoissa? Oli miten oli, eräs tärkeimmistä ohjeista mallien aikaansaamiseksi on ottaa riittävästi valokuvia.

Aina valokuvien lukumäärä ei kuitenkaan riittänyt mallin tekemiseksi, tai mallista ei tullut hyvä. Vaikka osa kuvista näytti sisältävän kohteen tai sen osia, PhotoScan-ohjelma ei osannut hyödyntää niiden sisältämää informaatiota kohdetta mallintaessa. Kameran tarkennus ei ehkä ollut riittävän hyvä, vaan kuvat oli otettu liian kaukaa tai riittämättömässä valossa. Tämän päättelin siitä, että malliin käytetyistä valokuvista PhotoScan oli hyödyntänyt vain niitä kuvia, jotka oli otettu lähempää kohdetta. Tulkintaa näyttäisi tukevan myös Agisoftin PhotoScanin manuaalin ohje, jonka mukaan jokaisen valokuvan tulisi hyödyntää valokuvan laajuus eli kuvattavan kohteen tulisi olla koko kuvan levyinen. Jos kohde ei mahdu koko kuvan alueelle, tulee kuvia vain ottaa lisää.<sup>159</sup> Tekemistäni 3D-malleista sai vaikutelman, että juuri tämä oli vialla isossa osassa valokuvista; mallintamista varten valokuvattaessa kuvauksen kohteen tulisi peittää iso osa valokuvan pinta-alasta. Esimerkiksi haudassa oleva vainaja tulisi siis jakaa useaan kuvattavaan ruutuun jotka kaikki ruumiinosat tulisivat kuvatuksi samalta etäisyydeltä kohteesta, kuten ilmakuvauksen sädekimppumenetelmän periaatteessa<sup>160</sup>.

Ohjeita valokuvien ottamiseksi on PhotoScanin manuaalissa<sup>161</sup>, ja ne pätevät varsin hyvin myös arkeologien suorittamaan valokuvaamiseen. Osassa tekemistäni malleista esiintyi häiriöitä, jotka mitä todennäköisimmin johtuvat kuvaustilanteen haastavuudesta. Ongelmat kuvissa ovat seurauksena ulkotyön tuottamista haasteista, jotka varmasti ovat tuttuja arkeologisilla kaivauksilla työskenteleville. Näitä voivat olla malleihin häiriötä aiheuttaneet puiden lehvästön tuottama heiluva varjo sekä maanpinnan muodon vaikea erottuminen sen värin ja kuivuneisuuden vuoksi, sekä esimerkiksi märkä ja heijastava maanpinta. Menetelmän kehittämisen ja käyttöönoton mahdollisesti jatkuessa, on ehkä paikallaan muistuttaa valokuvauksen valmistelun ja kohteen siisteyden merkityksestä myös mallinluomisprosessille. Siksi lienee syytä kerrata tässä asioita, joita kuvaaja mahdollisuuksien mukaan voisi tehdä mahdollistaakseen parhaimman kuvanlaadun mallintamiseen.

---

<sup>159</sup> Agisoft 2012: 5.

<sup>160</sup> Salmenperä 1983: 35, kuva 32.

<sup>161</sup> Agisoft 2013: 4–7.

Maanpinnan eri yksiköiden erottamiseksi on maakerrokset syytä kastella kevyesti ennen kuvaamista; tällä tavoin eri värisävyt erottuvat paremmin kuvassa, ja mallin päälle tehty tekstuuri näyttää tarkemmalta. Liikaa kastelua tulisi luonnollisesti välttää, koska se voi lisätä esimerkiksi kivien heijastavuutta ja vaikeuttaa mallintamisprosessia tuottaen malliin jopa aukkoja. Kuvat kuitenkin tulee ottaa nopeasti, ettei osa alueesta ehdi kuivua, ja luoda sävyeroja pintaan.

Kuvia tulisi ottaa eri kulmista, jotta kolmiulotteinen pinta tulee kattavasti dokumentoiduksi. Kivirakenteita, kuten röykkiöitä, kellareita tai muureja kuvattaessa, ahtaat kivenkolot voivat lisätä vaadittavien valokuvien määrää. Valokuvausasenolla ei näyttäisi olevan suurta merkitystä, kunhan kaikkia kuvia ei ole otettu samasta suunnasta. Tasojen kuvaaminen fotogrammetriaa varten näyttäisi olevan haastavampaa. Kaivettu taso tutkitaan usein pitkinä, ojamaisina kokonaisuuksina, joiden kuvaamiseen saattaa riittää yksi kuva, kun kameraa kallistaa. Fotogrammetrian keinoin pyritään valokuvien tuomasta informaatiosta eliminoimaan tai vähentämään kameran kallistumisesta johtuvat perspektiivin virheet ja vääristymät niin, ettei sitä olisi enää 3D-malleissa ja ortokuvissa. Parhaan tuloksen saa, kun kameraa ei kallistettaisi, vaan kuvat otetaan kohtisuoraa kuvattavasta kohteesta. Mielestäni hyvä keino tasaisen, suuren alueen tai kaivauskohteen kuvaamiseksi on, että siitä tulisi ottaa useampi kuva lähietäisyydeltä kameraa välissä siirtämällä, kameran kuvauskulmaa tai kallistusta kuitenkin muuttamatta. Näin kamera tarkentaa kohteeseen paremmin, verrattuna siihen, että itse siirtyisi kauemmas kohteen mahdollistamiseksi valokuvan alaan. Lisäksi kaivauksilla tutkimus etenee usein järjestelmällisesti määrätyn paksuisina tasoina. Tämä tekee tasoista tasaisia, eikä kuviin tule kovin montaa geometrista kohoumaa, jota Photoscan voisi hyödyntää.

Puiden ja kasvien tuomaa varjostusta voi yrittää vähentää esimerkiksi suojapeitteillä varjostamalla,<sup>162</sup> karsimalla kasvustoa tai parempia olosuhteita odottamalla. Usein tämä kuitenkin on arkeologisilla kaivauksilla mahdotonta. Auringon tuoma sivuvalo voi olla ongelmana myös yksityiskohtia kuvattaessa, joten suosittelisin jonkinlaisen kankaan tai pressun käyttöä myös liian auringonvalon häiriöiden vähentämiseksi. Myös liian pimeässä valokuvat tulevat epätarkoiksi ja kameran erottelukyky heikkenee, joten tämä saattaa asettaa kuvausaikataululle rajoitteita.

---

<sup>162</sup> Fiorini 2011: 5.

Vääristymiä oli vähemmän malleissa, joissa valokuvat oli otettu mahdollisimman kohtisuoraan kuvattavasta kohteesta ja etäisyydeltä, jossa kamera on pystynyt tarkentamaan kohteeseen useasta eri kulmasta. Esimerkiksi Keminmaan Valmarinniemen haudasta numero 75 oli varsin vähän mustia vääristymiä hautauksen sisäpuolella, ja siellä kohde oli kuvattu useasta kulmasta, ja tietokone pystyi tunnistamaan ja sijoittamaan kamerat virtuaalimalliin. (Ks. esim. Kuva 12A).

### 5.3. VALOKUVIEN JA MALLIEN KRITIIKKI

Valokuvat ovat hyvä ja nopea keino tallentaa arkeologista kenttätöitä, mutta samalla on yksinkertaistettu kolmiulotteinen maailma kaksiulotteiseksi<sup>163</sup>. Valokuvaa tulkitessa tuntuu, kuin katselisi maailmaa yhdellä silmällä, syvyys puuttuu. Arkeologit on oikeastaan jopa koulutettu dokumentoimaan kolmiulotteista tietoa kaksiulotteiseksi.<sup>164</sup> Liian usein emme kuitenkaan jää miettimään, mihin pyrimme esimerkiksi valokuvien ottamisella. Lisää kritiikkiä tarvitaan siis valokuvadokumentoinnin merkityksestä arkeologeille. Valokuvaamisen ei täydy eikä se saa olla valokuvaamista vain valokuvaamisen itsensä vuoksi. Syyksi valokuvausdokumentointiin ei mielestäni riitä se, että valokuvaamista on pitkään harrastettu arkeologisen dokumentoinnin välineenä. Yksi hyödyntämiskeino on se, että valokuvista paikalla ollut tutkija voi palauttaa mieleen kaivauksilla tapahtuneita tilanteita. Kuvat toimivat tällöin tärkeänä muistin apuvälineenä. Muistin apuvälineinä valokuvat eivät mielestäni ole niin hyödyllisiä, jos kaivauksista on kulunut pitemmän aikaa, tai tutkija ei itse ole ollut paikalla. Tämä johtunee siitä, että pelkät valokuvat kadottavat asioiden todelliset mittasuhteet ja perspektiivin, ja pelkkien valokuvien avulla ei kohteesta synny niin kokonaisvaltaista kuvaa

Koska käyttämäni kuvat eivät aina olleet suositusten mukaisia, olivat mallit usein karkeita. Käytyäni läpi Oulun yliopiston arkeologisen laboratorion valokuva-aineiston, uskallan väittää, että valokuvadokumentoinnin tason voi katsoa jopa laskeneen aikojen saatossa. Kaivauskohtaisesti otettujen valokuvien määrä on pienentynyt, eikä eri työvaiheiden tasojen dokumentoimiseen ole otettu kovinkaan montaa kuvaa.

Kuvat, jotka on otettu fotogrammetrian suositusten mukaisesti, pystyvät kuitenkin parempaan tarkkuuteen. Erityisesti tähän menetelmään suunnitelmallisesti otetut kuvat olivat laadultaan huomattavasti minun tekemiäni malleja parempia. Esimerkiksi De Reun

---

<sup>163</sup> Remondino & Campana 2014: 7.

<sup>164</sup> Remondino & Campana 2014: 11.

tutkimuksen kaksi eri mallia tehtiin 103 kuvalla ja toinen 104 kuvaa käyttäen, ja niihin muodostui 350000 ja 820000 pistettä,<sup>165</sup> kun tekemäni mallit jäivät noin puolessa tapauksista alle 10000 sidospisteeseen. Eniten sidospisteitä sain malliin haudasta 59, joka rakentui 17 valokuvasta, ja jossa oli 63242 sidospistettä.<sup>166</sup> Vanhojen valokuvien vähäisempi hyödynnettävyys voi toimia herättävänä tekijänä; me pystymme parempaankin, mitä tulee arkeologiseen valokuvadokumentointiin. Voimme valokuvien ottamista suunnitteleamalla ja riittävällä määrällä saada talteen niin paljon enemmän informaatiota.

Fotogrammetrinen mallintaminen lisää jälkityövaiheeseen ylimääräisen työvaiheen, kun valokuvat käydään läpi ja tehdään 3D-malli PhotoScan-ohjelmalla. Dokumentointimenetelmien murroksessa voi mielestäni alkaa keskustella siitä, pitäisikö arkeologin aina tulkita vain käsin tehtyjä piirroksia ja tasokarttoja, vai olisiko aika kääntää katseet kameroiden ja tietokoneiden avulla rakennettuihin malleihin. Piirtämisen vaihtaminen mallinnoksista tehtäviin tulkintaan vähentäisi riippuvuutta piirtäjän ensikädessä tapahtuvaan tulkintaan, käsialan laatuun ja piirtotaitoon. Valokuvien ottaminen on mielestäni helpompaa kuin hyvän piirrostulkinnan tekeminen alueesta tai kohteesta. 3D-mallia tehtäessä luotetaan puolestaan valokuvaajan taitoon ottaa riittäviä kuvia, mutta samalla myös altistutaan siihen, että mikäli emme ymmärrä malleja luovaa tekniikkaa, joudumme sokkona luottamaan tietokoneen suorittamiin laskelmiin ja etäisyyksien havainnointiin.

---

<sup>165</sup> De Reu et al. 2013: 205–207.

<sup>166</sup> Ks. Liite 2. Malli 9: Hauta 59:n 3D-malli sisälsi pintapisteitä niin vainajasta kuin hautakuopasta.

## 6. LOPPUSANAT

Tutkielmani edetessä tulin johtopäätökseen, että 3D-visualisointi oli mahdollista osassa aineistostani vaikka valokuvia ei alun perin ole otettu varsinaisesti tähän tarkoitukseen. Agisoftin PhotoScan-ohjelma voi lisätä vanhojen kuva-aineistojen hyödynnettävyyttä, jos tutkija haluaa tehdä mittauksia jo tapahtuneista kaivauksista. Useista kuvista saa tehtyä malleja, joista yksinkertaiset geometriset laskennat, kuten luiden tai röykkiön leveyden mittaaminen onnistuu. Mallista voi tehdä arvioita ja laskea mittasuhteita paremmin kuin pelkästä kaksiulotteisesta valokuvasta. Myös hautakuopan tilavuuden arvion laskeminen olisi mielestäni mahdollista toteuttaa, vaikka tekemistäni malleista tilavuuden laskeminen epäonnistui. Epäonnistumisen syyksi katson sokeiden pisteiden liian suuret pinta-alat malleissa. Valmiin 3D-mallin muokkaaminen erilaisilla sovelluksilla mahdollistaisi näiden reikien täyttämisen, mutta katson sen olevan tämän tutkielman ulkopuolelle jäävä asia. On huomioitavaa että samaan tapaan kuin piirtäjänkin piirroksessa, saattaa myös tietokoneen mallissa olla visuaalisia anomaliaita, kuten ohjelman algoritmeista johtuvia mittavirheitä. 3D-malleja, piirroksia tai valokuvia ei ole tehty korvaamaan todellisuutta vaan ne on tehty kuvaamaan todellisuuden ilmiöitä eri keinoilla, joten niitä pitää aina tulkita varauksella.

Kenttätyöoppaissa suositeltua kaivausvälineiden poistoa kohteesta ei oltu noudatettu kuvattaessa aina, mutta tästä johtuen osa malleista on mahdollista skaalata mittakaavaan kuvaan jääneitä työvälineitä hyödyntäen. Mielestäni onkin huomattava, että kuvausalueen siistiminen työvälineistä ennen valokuvien ottamista ei aina ole informaation säilymisen kannalta tarpeen. Ne voivat toimia mittakaavana silloin, kun tarkempaa mittaa ei ole käytössä tai saatavilla.

Kolmiulotteisen mallin lopputulokseen tuntui myös vaikuttavan kuvaajan into ottaa kuvia. Mitä useampi kuva kohteesta oli, sen todennäköisemmin mallin muodostus kohteesta onnistui. Kuvattavien kohteiden vähäisyys tai puuttuminen voi johtua Maastotöiden perusteet-teoksen mainitusta kuvien hyödystä.<sup>167</sup> Voi olla, ettei valokuvaamista ole katsottu tarpeelliseksi ja kohteen tulkinta on jätetty piirrosten ja sanallisen kuvailun varaan.

Mallintekoprosessin aikana syntyi useita pintamalleja erilaisista kohteista. Suurin osa kyseisillä kaivauksilla otetusta valokuvista jäi toki hyödyntämättä, joten tutkielman aikana alkoi herätä kysymyksiä siitä, minkälaiset kohteet on käytännössä dokumentoitu usealla

---

<sup>167</sup> Takala 1998: 166.

valokuvalla. Tutkielmassani esitin arvioitani mahdollisista kohteista tutkielman aikana kokemani pohjalta, mutta mielestäni erilaisten kohteiden kokeiluluonteista mallintamista tulee jatkaa myös tulevaisuudessa. Osa malleista toimi esittämisen apuvälineenä, toisista voi olla jopa apua arkeologisessa tulkinnessa, esimerkkinä tällaisesta toimii Keminmaan Valmarinniemen hauta 130 malli, jonka 3D-mallista on mielestäni hahmotettavissa neljännen ruumiin piirteitä.

Lähtökohtana oli, etten pysty vanhojen kaivauskuvien laatuun enää vaikuttamaan, vaan kuvat on jo otettu niissä olosuhteissa ja sillä osaamisella ja työvälineiden tasolla, kuin on kaivauksilla katsottu tarpeelliseksi. Silti en voi kylliksi painottaa kuinka tärkeää on kaivauksilla otettujen kuvien hyvä laatu myös nyt ja tulevaisuudessa. Kameratekniikan kehitys ei tee uusista valokuvista automaattisesta parempia, jos valokuvauksen periaatteita ei muisteta vaalia. Voi myös olla, että Oulun yliopiston arkeologian laboratorion valokuvien ottamiseen ovat vaikuttaneet opiskelijoiden valokuvauksen harjoittelu: kenttäharjoittelun yhteydessä otettiin vain pakolliset kuvat tasosta ja lähinnä ehkä periaatteen vuoksi. Ammattivalokuvaajia ei kaivauksilla useimmiten ole ollut. Vanhoilla kaivauksilla, kuvia otettiin usein lukuisia, sillä ilmeisesti tiedettiin että kehitettäessä jokin saattoi mennä vikaan, tai kameralla tarkentaminen on epäonnistunut tai linssissä on ollut vaikka roska. Osin ehkä tästä syystä vanhoilla kaivauksilla kuvia on otettu useita ja useasta eri kulmasta. Mikäli valokuvat ovat onnistuneet, myös 3D-malli on usein onnistunut. Nykyään kuvat otetaan digitaalikameralla, jossa epäonnistuneet kuvat voidaan poistaa välittömästi eikä ehkä synny tarvetta usealle kuvalle samasta kohteesta, kun kuvan laadun voi tarkastaa heti. Tämä voi vaikeuttaa kuva-aineiston myöhempää hyödyntämistä mallintamisessa. 3D-mallintamisen tärkeydestä tulisikin puhua edelleen, sillä kuva-aineiston avulla on myös mahdollista rekonstruoida menetetty kohde visuaalisesti.

Arkeologinen dokumentointi on yksityiskohtaista, mutta myös monipuolista. Valokuvat eivät pysty kertomaan kaikkea. Tästäkin syystä on arkeologien jo paikanpäällä keräämä, ja yksinkertaistava tulkinta tärkeää; arkeologinen tulkinta ja dokumentointi ei ole pelkästään visuaalisen kopion tekemistä kaivausalueesta. Visuaalisen kopion voi kuitenkin pyrkiä tekemään nykyisillä menetelmillä. Lisäksi niiden tekeminen voi tulevaisuudessa olla yhä tärkeämpää, kun sotien runtelemien alueiden väestö ei voi suojella arvokasta kulttuuriperintöään tuhoutumiselta. Aiheesta on alkanut nousta esiin käytännön esimerkkejä, kun digitaalisen fotogrammetrian menetelmällä on pyritty mallintamaan ja rekonstruoimaan Mosulin tuhoutunutta kulttuurisineistöä. Rekonstruktioissa hyödynnetään nimenomaan

valokuvia, vaikka esineet on varmasti tutkittu ja dokumentoitu piirtämällä ja kuvailemalla sanallisesti. Arkeologinen kuvailu ei mitä ilmeisimmin kuitenkaan kuvaa todellisuutta riittävän visuaalisella tavalla, mikä mahdollistaisi tarkan mallin luomisen tietokoneelle tai jonkinlaisen jäljennöksen tekemisen. Fotogrammetrian menetelmän omaksuminen tai edes sen periaatteita silmällä pitäen, voivat arkeologit mielestäni toimia yhä monipuolisemmin kulttuuriperinnön säilyttäjinä.



# BIBLIOGRAFIA

## Painamaton kirjallisuus

Breuckmann 2011: *A Brief Instruction Manual*. OPTOCAT 2011 R2 Version.

Breuckmann 2: The flexible system series for precise 3D measuring technique Data Sheet

Breuckmann 3: Breuckmann – Precision in 3D, smartSCAN3D 2242 Data Sheet

Cofield, M. 2005: *Digital Imaging Basics*. Information Technology Lab School of Information, The University of Texas, Austin, USA.

Debenjak A. 2014: *Digitaalinen fotogrammetria – uusi menetelmä suomalaisen arkeologian kentälle?* Helsingin yliopiston Filosofian, historian, kulttuurin ja taiteiden tutkimuksen laitoksen arkeologian oppiaineen proseminarityö. Helsinki.

Georgopoulos, A. & Ioannidis, C. 2004: *Photogrammetric and Surveying Methods for the Geometric Recording of Archaeological Monuments*. Proceedings of FIG Working week 2004.

Herva, V-P. & Hietala, M. 2001: *Muhoksen Laitasaaren Palokankaan tutkimusraportti 2001*. Oulun yliopisto, Arkeologian laboratorio.

Koivunen, P. 1989: Tutkimuskertomus, Keminmaa, Haapamaa (KH-89). Pronssikautinen (?) kalmisto. Oulun yliopisto, historian laitos.

Koch, R. Pollefeys, M. & Van Gool, L. 2000: *Realistic Surface Reconstruction of 3D Scenes from Uncalibrated Image Sequences*. Verkossa julkaistu artikkeli, löytyy osoitteesta <https://www.inf.ethz.ch/personal/marc.pollefeys/pubs/KochJVCA00.pdf>.

Kjellman, E. 2012: *From 2D to 3D – A photogrammetric revolution in archaeology?* Master's Thesis in Archaeology, university of Tromsø.

Luukkonen, M. 2011: *Tietokoneet ja Digitaalinen 3D Arkeologiassa*. Pro Gradu -tutkielma Oulun yliopisto.

Lybeck, J. et al. 2006: *Arkistot – Yhteiskunnan toimiva muisti*. Asiakirjahallinnon ja arkistotoimen oppikirja. Arkistolaitoksen toimituksia 2. Arkistolaitos, Helsinki 2006.

Nikon 2005: *Super Coolscan LS4000 ED / Coolscan IV ED User's Manual*.

Oulun Yliopisto 2012: *Kuvaus Arkeologian laboratorion kuva-arkiston digitointihankkeesta – lyhyt kuvaus*.

- Ratilainen, T. 2012: *Tiiliä tulkitsemassa*. Turun yliopiston historian, kulttuurin ja taiteiden tutkimuksen laitoksen lisensiaatin tutkielma.
- Rönholm, P. 2003: *Yksittäisen kuvan geometrisista ominaisuuksista*. Fotogrammetrian, kuvatulkinnan ja kaukokartoituksen erikoistyö. Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laboratorio, TKK.
- Schenk, T. 2005: *Introduction to Photogrammetry*. Autumn Quarter. Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, The Ohio State University. GS400.02 opintomateriaali.

## Painettu kirjallisuus

- Andrews D, Bedford, J, Blake, B, Bryan, P, Cromwell & T. Lea, R. 2009: *Measured And Drawn*. Bedword, J. & Papworth, H. (ed.) English Heritage, Kemble drive, Swindon.
- Debenjak A. 2015: 3D-mallintaminen osana arkeologista arkea? Digitaalisen fotogrammetrian käyttö arkeologisessa dokumentoinnissa ja tutkimuksessa. Hukantaival, S. (toim.) *Muinaistutkija 2015:1*, 24-34. Suomen arkeologinen seura, Vaasa.
- De Reu, J. Plets, G. Verhoeven, De Smedt, P. Bats, M. Cerretté, B. De Mayer, W. Deconynck, J. Herremans, D. Laloo, P. Van Meirvenne, M. & De Clercq, W. 2013a: Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage. Grattan, P. et al. (ed.), *Journal of Archaeological Science 40*, Issue 2: 1108–1121.
- De Reu, J. De Clercq, W. Sergant, J. Deconynck, J. & Laloo, P. 2013b: Orthophoto Mapping and Digital Surface Modeling for Archaeological Excavations: An Image-based 3D Modeling Approach. Addison, A. et al. (ed.), *In Proceedings of the 2013 Digital Heritage International Congress*: 205–208.
- De Reu, J. De Smedt, P. Herremans, D. Van Meirvenne, M. Laloo, P. & De Clercq, W. 2014: On Introducing an image-based 3D reconstruction method in archaeological excavation practice. Hunt, C. O. et al. (ed.), *Journal of Archaeological Science 41*: 251–262.
- Doneus, M., Verhoeven, G., Fera, M., Briese, C., Kucera, M. & Neubauer, W. 2011: *From Deposit to Point Cloud – A Study of Low-cost Computer Vision Approaches for the Straightforward Documentation of Archaeological Excavations*. Geoinformatics CTU FCE Vol 6 (2011): . Reviewed papers from XXIIIrd International CIPA Symposium. Praha, Tšekki.
- Dorrell, P. G. 1989: *Photography in Archaeology and Conservation*. Cambridge Manuals in Archaeology. Cambridge University Press. 1989.
- Fiorini, A., Urcia, A. & Archetti, V. 2011: The Digital 3D Survey as Standard Documentation of the Archaeological Stratigraphy. Dellepiane M. et al. (ed.), *The 12<sup>th</sup> International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST (2011)*: 145–152.
- Haggrén, H. 2011: 200 vuotta fotogrammetrian ja kaukokartoituksen historiaa. Hyypä H. & Rönnholm P. (toim.), *The Photogrammetric Journal of Finland*, Vol. 22, No. 3, 2011.
- Hermon, S. Iannone, G. & Amico, N. 2014: A Three-dimensional approach to the documentation and analysis of heritage sites – a case study from the cypriot cultural heritage landscape. Castillo, A. (ed.), *Archaeological Dimension of World Heritage*: 27–37.

- Herva, V-P. Ikäheimo, J. P. & Hietala, H. 2004: Should the Marginal be classified? The archaeology of Muhos Palokangas, Northern Ostrobothnia (Finland). Randsborg, A. (ed.) *Acta Archaeologica*, vol 75 issue 2: 15–25.
- Howland, M.D. Kuester, F. Levy, T.E. 2014: Photogrammetry in the Field: Documenting, Recording, And Presenting Archaeology. Flaten, A. et al. (ed), *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, Vol. 14, No 4: 101–108..
- Koistinen, K. 2000: 3D Documentation for Archaeology During Finnish Jabal Haroun Project. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol XXXIII, Part B5: 440–455. Amsterdam.
- Koivunen, P. 1975: *A Gilded relief Brooch of the migration period from Finnish Lapland*. Acta Universitatis Ouluensis, Series B: Humaniora, Historica: No 4. Oulu yliopisto. Oulu.
- Koivunen, P. 1981: Keminmaan kirkonpaikan tutkimukset Valmarinniemellä kesällä 1981: alustava raportti. *Faravid*. Pohjois-Suomen historiallisen yhdistyksen vuosikirja 5: 37–53.
- Lock, G. 2000: *Beyond the Map. Archaeology and Spatial Technologies*. IOS Press, Amsterdam.
- Lasaponara, R. & Masini, N 2013: Remote sensing in archaeology: an overview. *Journal of aeronautics and space technologies*. Hacıogluet, A. et al. (ed.) Special issue of Remote Sensing Geographic Information Systems. January 2013 Vol. 6 No 1. 7–17. Turkis Air Force Academy, Aeronautics and Space Technologies Institute. Open Access: [http://www.rast.org.tr/hutendergi/index.php/HHO\\_JAST/article/view/121/45](http://www.rast.org.tr/hutendergi/index.php/HHO_JAST/article/view/121/45).
- Nykänen, P. & Hölttä, M. 1992: *Arkeologin valokuvausopas*. Helsinki Papers in Archaeology no. 4.
- Okkonen, J. 1993: *Keminmaan Kiimamaan röykkiö- ja asuinpaikkakohteen arkeologiset tutkimukset 1992*. Arkeologian tutkimusraportti 8. ISSN 1238-8912. Oulu Yliopisto.
- Osterman, M. 2007: *The Technical Evolution of Photography in the 19<sup>th</sup> Century*. Peres, M. et al. (ed.), *The Concise Focal Encyclopedia of Photography: from the first photo on Paper to the Digital Revolution*. Focal Press:
- Pavlidis, G. Koutsoudis, A. Arnaoutoglou, F. Tsioukas, V. & Chamzas, C. 2007: Methods for 3D Digitization of Cultural Heritage. Vigato, P. A. (ed.), *Journal of Cultural Heritage* 8 issue 1: 93–98.
- Pollefeys, M. Van Gool, L. Vergauwen, M. Cornelis, K. Verbiest, F. Tops, J. 2001: Image-based 3D Acquisition of Archaeological Heritage and Applications. Arnold, D. et al. (ed.). *Proceedings of the 2001 Conference on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST'01)*: 255–262. Association for Computing Machinery: New York.

- Purhonen, P. & Söyrinki, L. 1973: *Arkeologin kenttätöet*. Oy Gaudeamus Ab: Lahti.
- Rekiaro, I. & Robinson, D 1992: suomi / englanti / suomi sanakirja 6. painos. Gummerus: Jyväskylä.
- Remondino, F. & Campana, S. 2014: *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage: Theory and best practices*. Archaeopress: Oxford.
- Seitsonen, O. & Holappa, M. 2011: Dokumentointi ruumishautauskaivauksilla: Esimerkki Lappeenrannan Huhtiniemestä. Salo, K. & Niukkanen, M. (toim.). *Arkeologisten hautakaivausten tutkimusmenetelmät*. Museoviraston rakennushistorian raportteja 22: 36–46. Museovirasto: Helsinki, 2011.
- Strong, D.E. 1973: *Archaeological Theory and Practice*. Institute of Archaeology, University of London. Seminar Press. London/New York.
- Szeliski, R. 2011: *Computer vision, Algorithms and Applications*. Tests in Computer Science. Springer: New York.
- Sundell, T. & Putkonen, M. 2011: DNA-tutkimuksen huomioiminen arkeologisella kaivauksella ja jälkitöissä. Salo, K. & Niukkanen, M. (toim.). *Arkeologisten hautakaivausten tutkimusmenetelmät*. Museoviraston rakennushistorian raportteja 22: 57–60. Museovirasto: Helsinki, 2011.
- Salmenperä, H. 1983. *Fotogrammetrian perusteet*. Opintomoniste, 2. painos. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Tampere.
- Takala, H. 1998: *Arkeologian maastotöiden perusteet*. Yliopistopaino, Helsinki.
- Trucco, E. & Verri, A. 1998: *Introductory Techniques for 3-D Computer Vision*. Prentice-Hall Inc. New Jersey. USA.
- Verhoeven, G. 2011: Taking Computer vision aloft – Archaeological Three-dimensional Reconstructions from Aerial Photographs with PhotoScan. Gaffney, C. et al (ed.), *Archaeological Prospection Vol 18( Issue 1) 67–73*.

## Verkojulkaisut ja sähköposti

Aalto-yliopisto 2015: Aalto-yliopiston Maankäyttötieteiden laitoksen alaisen fotogrammetrian ja kaukokartoituksen alan verkkosivut: <http://maa.aalto.fi/fi/research/gma/photogrammetry/>. Luettu 23.3.2015.

Agisoft 2013: *Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition, Version 1.0.0*. <http://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/>. Luettu 2

Agisoft 2015: *Agisoft Photoscan User Manual Professional Edition, Version 1.2.4*  
<http://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/>

Agisoft Tutorial: <http://www.agisoft.com/index.php?id=28>. Tutorial for beginners: Orthophoto and DEM Generation (without GCPs) with Agisoft PhotoScan Professional. Luettu 1.2.2016.

Agisoft PhotoScan Professional: Ohjelman viralliset verkkosivut. <http://www.agisoft.com/features/professional-edition/>. Luettu 29.4.2016.

Anttiroiko, Niko 2015: <niko.anttiroiko(at)museovirasto.fi>, [henkilökohtaiset sähköpostiviestit] otsikolla Fotogrammetriasta. 1-4.12.2015.

Brandslet, S. 2015: *The mystery of a deeply gouged Viking shield*. <http://gemini.no/en/2015/03/the-mystery-of-a-deeply-gouged-viking-shield/> Luettu 18.4.2015

Cordis 2015: Tiedonanto projektista Euroopan Komission alaisen CORDIS-palvelun verkkosivuilla. [http://cordis.europa.eu/news/rcn/122604\\_en.html](http://cordis.europa.eu/news/rcn/122604_en.html). Päivitetty 26.3.2015 Luettu 13.1.2016.

FKSRY 2005: *Ohjeita ortokuvien tuotannolle ja käytölle Suomessa*. Julkaisu 1/2005. Versio 6. Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen seura RY. Verkojulkaisu: [http://www.fksry.fi/files/fks.julkaisee.fi/tiedostot/fksortokuvasuositus\\_13042005.doc](http://www.fksry.fi/files/fks.julkaisee.fi/tiedostot/fksortokuvasuositus_13042005.doc).

Gate Archaeology 2010: <http://www.gatearchaeology.be/team.html>. Päivitetty 14.06.2012. Luettu 4.2.2016.

Guardian.com 2015: *Isis fighters destroy ancient artefacts at Mosul museum*. Verkkosivut: <http://www.theguardian.com/world/2015/feb/26/isis-fighters-destroy-ancient-artefacts-mosul-museum-iraq>. Päivitetty 26.2.2015. Luettu 4.10.2015

Kansanarkisto.fi 2015: Vasemmistolaisen työväenliikkeen, kansalaisjärjestöjen ja työväen sosiaali- ja kulttuurihistoriaan liittyvää kuva-aineistoa tallentavan arkiston verkkosivut: <http://www.kansanarkisto.fi/kuvaark.htm>. Luettu 17.3.2016.

Kuvakokoelmat 2016: Museoviraston kansallisen kulttuurihistorian kuva-arkiston verkkosivut: <https://www.kuvakokoelmat.fi/sites/info>. Luettu 29.4.2016

Meshlab 2016: Avoimeen lähdekoodiin perustuva, kolmiulotteisia pintojen käsittelyyn ja muokkaamiseen kehitetty ohjelmisto ja sen verkkosivut <http://meshlab.sourceforge.net/>. Luettu 20.4.2016.

Museovirasto 2015a: *Arkeologisten kenttäpalveluiden tilaustutkimukset 2015*. Museoviraston verkkosivut: [http://www.nba.fi/fi/kulttuuriymparisto/arkeologiset\\_kenttapalvelut/tilaustutkimukset-2015](http://www.nba.fi/fi/kulttuuriymparisto/arkeologiset_kenttapalvelut/tilaustutkimukset-2015). Päivitetty 2.2.2016. Luettu 30.3.2016.

Museovirasto 2015b: *Museovirasto tutkii mahdollista Hanneke Vromen hylkyä Jussarössä*. Museoviraston verkkosivut: <http://www.nba.fi/fi/ajankohtaista/tiedotearkisto?Article=6089>. Päivitetty 14.1.2016. Luettu 28.4.2016.

Museovirasto 2015c: *Tyrvään Pyhän Olavin kirkon mittaukset*. [http://www.nba.fi/fi/kulttuuriymparisto/rakennusperinto/tiedon\\_tuotanto/dokumentointi/pyhan\\_olavin\\_kirkon\\_mittaus](http://www.nba.fi/fi/kulttuuriymparisto/rakennusperinto/tiedon_tuotanto/dokumentointi/pyhan_olavin_kirkon_mittaus). Luettu 12.11.2015.

Museovirasto 2015d: *Infosivu rakennusperinnön dokumentoinnista*. <http://www.nba.fi/fi/kulttuuriymparisto/rakennusperinto/dokumentointi>. Luettu 20.11.2015.

NewPalmyra 2016: *Palmyran muinaisjäännöskohteita digitaalisesti mallintavan projektin verkkosivut*. <http://www.newpalmyra.org/>. Luettu 29.4.2016

Project Mosul 2015: *Mosulin alueen muinaisjäännöksiä tallentava projekti ja sen verkkosivut*. <http://projectmosul.org/press>. Luettu 4.10.2015.

## **Kuvat**

Kannen kuva: Liite 2. Malli 25: Keminmaan Kiimamaan røykkiö.

Kuva 9: NTNU University Museum: <https://ntnu.box.com/shared/static/51nxbf6fi269suwklzi574za62j3eric.pdf>.

# LIITTEET

## LIITE 1. TUTKIELMAA VARTEN TEHDY 3D-MALLIT JA NIIDEN TIEDOT

KK	Aihe	SP	$\Delta$	Lkm	▣	Kuvat	Mit.	Aika
Valmarinniemi	Hauta 4	922	2000	16	3	8139–8154	-	0
Valmarinniemi	Hauta 4	1093	2000	8	3	8142–8144, 8146–8147, 8149–8151	+	12
Valmarinniemi	Hauta 9	14431	1000	23	7	8009–8031	+	3
Valmarinniemi	Hauta 9 v2	14523	2000	22	2	8009,8011–8031	-	3
Valmarinniemi	Hauta 17	5369	2000	12	6	8212–8223	0	10
Valmarinniemi	Hauta 17 v2	5369	22	12	6	8212–8223	-	10
Valmarinniemi	Hauta 44	5115	2000	8	4	7612–7619	+	5
Valmarinniemi	Hauta 51	12231	2000	13	2/9/7	7642–7645, 7647–7655	+	6
Valmarinniemi	Hauta 51 v2	11645	2000	9	4/9	7647–7655	+	8
Valmarinniemi	Hauta 59	63242	2000	17	17	7982–7998	+	120,
Valmarinniemi	Hauta 65 v1	18006	2000	12	2	7953–7964	0	100
Valmarinniemi	Hauta 65 v2	18006	2000	12	10	7953–7964	+	4800?
Valmarinniemi	Hauta 75	26042	2000	8	8	7807–7814	+	<60
Valmarinniemi	Haudan 75 Sormus	580	1005	5	2	7806, 7815–7818	-	<5
Valmarinniemi	Hauta 98	17849	4000	10	4	7660–7889	0	<120
Valmarinniemi	Hauta 130 v1	16653	2000	13	10	7755–7757, 7759–7768	+	-
Valmarinniemi	Yleiskuva 1	7557	2000	9	6	7320–7328	-	<15
Palokangas	Yleiskuva 2	5706	7308	11	3	23626–23634, 23638, 23639	-	X
Palokangas	Yleiskuva 3	-	-	21	3	23626–23646	-	0
Palokangas	Yleiskuva 4	11	170	5	2	23598–23602	-	5
Palokangas	Yleiskuva 5	5852	2000	6	2	23620–23625	-	10
Palokangas	Turve	115	205	9	2	23586–23594	-	10
Palokangas	Hiilijalki 1	1772	2000	5	4	23607–23611	0	<120
Palokangas	Hiilijalki 2	4319	2000	8	5	23639–23646	0	<120
Kiimamaa	Röykkiö 8	41029	2000	12	8	17260–17271	+	<120
Haapamaa	Röykkiö 2	33601	2000	18	7	16056–16063	+	<120

Taulukon selite:

KK = Kaivauskoodi,

SP=Sidospisteitä.

Aihe= Kuvaamisen kohde tai aihe

$\Delta$  = Geometria, eli kolmioiden lukumäärä mallin pinnassa.

Lkm. = mallia varten valittujen kuvien lukumäärä

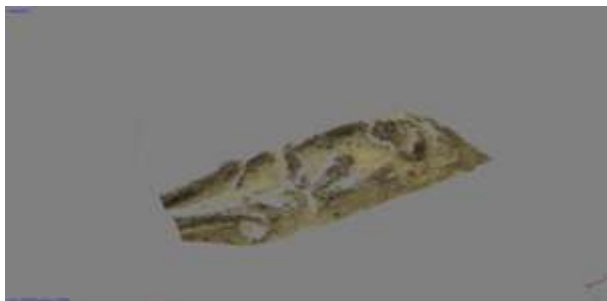
▣ = kuvien linjaus toisiinsa (align), lukumäärä. Mit. = onko malli mitattavissa + = kyllä, - = ei, 0 = mahdollisesti, erilaisilla toimenpiteillä.

Aika = 3D-mallin tekemiseen Agisoft Photoscan –ohjelmalla kulunut aika, eri vaiheet yhdistettynä. Aika on arvio, sillä tietokoneohjelman arvio mallin luomiseen kuluvasta ajasta saattoi vaihdella todellisuudessa kuluneeseen aikaan verrattuna useallakin tunnilla.



## LIITE 2. Photoscan mallit

### MALLI 1: HAUTA 4



Kunta: Keminmaa  
Kohde: Valmarinniemi  
Aihe: Hauta 4  
Kuvien määrä: 8  
Pisteiden määrä: 1093

Kuvaus: Henkilöhaudaus, jossa valokuvat oli otettu pitkällä aikavälillä auringonvalosta ja kohteen muuttuvista ominaisuuksista päätellen.

Mallin arviointi: Geometrinen malli haudasta 4 onnistui, mutta oli hyvin rakeinen ja täynnä aukkoja. Mallista erottui vainajan luita värisävyinä ja kohoumina.

### MALLI 2: HAUTA 9

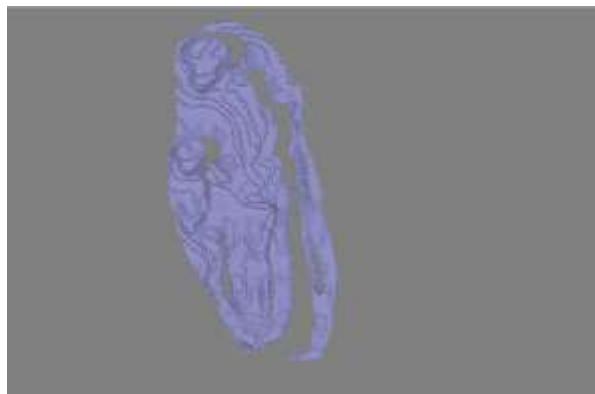


Kunta: Keminmaa  
Kohde: Valmarinniemi  
Aihe: Hauta 9  
Kuvien määrä: 23  
Pisteiden määrä: 14431

Kuvaus: Ensimmäinen versio kahden ihmisen haudasta.

Mallin arviointi: Malli oli visuaalisesti varsin näyttävä ja sitä pystyi tarkastelemaan useasta kulmasta. Suurempi vainaja oli kyljellään, ja vainajan selkäpuolelle jäi kuitenkin melko suuri aukko malliin.

### MALLI 3: HAUTA 9 v2



Kunta: Keminmaa  
Kohde: Valmarinniemi  
Aihe: Hauta 9  
Kuvien määrä: 22  
Pisteiden määrä: 14523

Kuvaus: Toinen versio kahden ihmisen haudasta.

Mallin arviointi: Tein haudasta nro 9 myös tämän toisen mallin ja poistin valokuvien joukosta yhden kuvan, jossa dia oli kuvattu koneelle väärin päin. Halusin kokeilla eri asetusten vaikutusta malliin. Tuloksena oli geometrinen malli, jossa pinnan kohoumat näkyvät asteittain. Asetukset vähensivät realismia, mutta toisaalta siinä näkyy selvästi vainajien päät ja niiden suhde toisiinsa.

### MALLI 4: HAUTA 17



Kunta: Keminmaa  
Kohde: Valmarinniemi  
Aihe: Hauta 17  
Kuvien määrä: 12  
Pisteiden määrä: 5369

Kuvaus: Ensimmäinen versio haudan 17 vainajasta.

Mallin arviointi: Mallin hyödyntäminen voi olla haastavaa, sillä vain yläosa ruumiista mallintui, ja yläosaankin jäi tyhjiä aukkoja.

## MALLI 5: HAUTA 17 v2



Kunta: Keminmaa  
Kohde: Valmarinniemi  
Aihe: Hauta 17  
Kuvien määrä: 12  
Pisteiden määrä: 5369  
Kuvaus: Toinen versio haudan 17 vainajasta, Smooth-asetuksella.  
Mallin arviointi: Ennen kuin PhotoScan tekee pintamallin, ohjelmaa voi määrätä tekemään geometrisen pintamallin erilaisilla asetuksilla. Smooth-asetus vähentää pintamallista geometristen kolmioiden lukumäärää, kasvattaen niiden kokoa, mutta yhdistävien pisteiden määrä pysyy kuitenkin samana. Asetuksen käyttö tekee pinnasta sileämmän, pyöreämmän, ja paikoitellen visuaalisesti hienomman. Samalla malli kuitenkin pyöristyy monesta kulmasta, ja esimerkiksi mittakepit vaikuttavat mallissa taittuneilta.

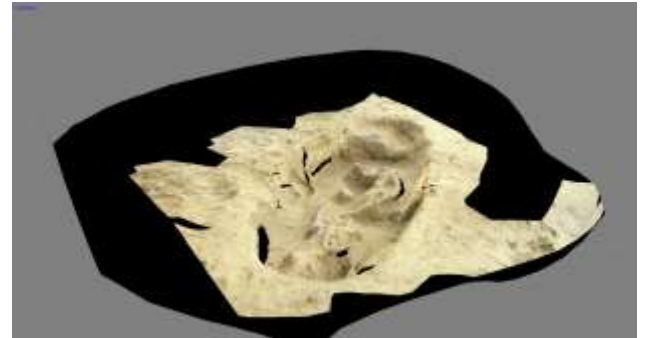
## MALLI 6: HAUTA 44



Kunta: Keminmaa  
Kohde: Valmarinniemi  
Aihe: Hauta 44  
Kuvien määrä: 9  
Pisteiden määrä: 11645  
Kuvaus: Yksityiskohta haudasta 44. Lähikuvaa vainajan pään alueesta mittakaavan kanssa.  
Mallin arviointi: Päätä pystyi tarkastelemaan useasta kulmasta, ja mallissa oli lupaavasti mukana

tuumastukki. Jokin mallinluonnissa oli kuitenkin epäonnistunut, sillä kolmiulotteisessa pintamallissa näkyy maasta irrallaan leijuva alahuuli.

## MALLI 7: HAUTA 51, VAIHE 1



Kunta: Keminmaa  
Kohde: Valmarinniemi  
Aihe: Hauta 51  
Kuvien määrä: 13  
Pisteiden määrä: 12231  
Kuvaus: Hauta 51 valokuvattiin enimmäkseen kahdessa vaiheessa sillä samaksi haudaksi nimetty kohde sisälsi kaivauskuvissa 'ahkioksi' kuvatun yksityiskohtan.  
Mallin arviointi: Malli 7: Vaihe 1 kuvaa sitä, miltä hauta 51 näytti ennen 'ahkion' poistamista. Valokuvien valitseminen pelkkien valokuvauspäiväkirjan merkintöjen ja valokuvissa esiintyvien hautanumeroa kuvaavien muovilappujen avulla oli haastavaa ja aikaa vievää. Verkkomalliin ei näyttänyt muodostuvan selvää vainajaa tai haudausasentoa vielä tässä vaiheessa. Tässä vaiheessa kuoppa ei ollut vielä kovin syvä, mutta malli näyttäisi mahdollistavan tilavuusmittauksia, sillä siihen kuuluu kuopan pohjaa ja reunaa, muutamista malliin jääneestä aukkopaiikasta huolimatta.

## MALLI 8: HAUTA 51, VAIHE 2



Kunta: Keminmaa  
Kohde: Valmarinniemi  
Aihe: Hauta 51  
Kuvien määrä: 9  
Pisteiden määrä: 11645

Kuvaus: Kaivauspäiväkirjassa ahkioksi nimetyn kohteen poiston jälkeen vainajan piirteet alkoivat hahmottua kuopan pohjalla.

Mallin arviointi: Malli on visuaalisesti näyttävä, eikä hautakuopan alueella ole paljoa häiriötä. Haudan reunat ovat myös lähes kokonaan mallintuneet. Vain vainajan jalkopäässä on suurempi aukko, sillä valokuvat otettiin kyseisestä suunnasta.

## MALLI 9: HAUTA 59



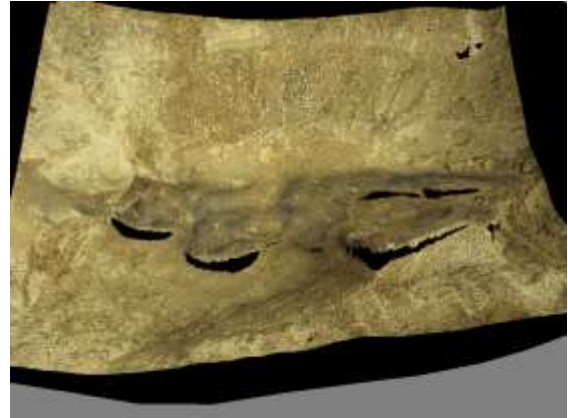
Kunta: Keminmaa  
Kohde: Valmarinniemi  
Aihe: Hauta 59 ja vainaja esiin kaivettuna  
Kuvien määrä: 17  
Pisteiden määrä: 63242

Kuvaus: Yhden vainajan hauta.

Mallin arviointi: Kokeilin pintamalliin myös erilaisia tekstuuriasetuksia. Tein 3D-malliin tekstuurit "single photo"-asetuksella. Siinä Photoscan laittaa verkkomallin pintaan tekstuurit yhtä valokuvaa hyödyntäen, mutta tällöin mallin

koko alaa ei hyödynnetty, vaan suuri osa pintamallin alueesta jäi mustaksi. Haudasta 59 tehdyn mallin pinnan tekstuuriin tekeminen yhdestä kuvasta onnistui kuitenkin poikkeuksellisen hyvin. 3D-mallia kallistettaessa ja tarkasteltaessa sitä jalkopäästä, alkoi pintamalli kuitenkin näyttää raemaiselta. Hauta oli kuvattu monesta kulmasta kameraa kallistaen.

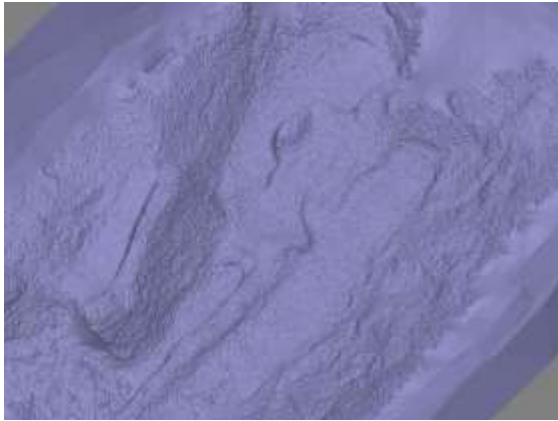
## MALLI 10: HAUTA 65 v1



Kunta: Keminmaa  
Kohde: Valmarinniemi  
Aihe: Hauta 65  
Kuvien määrä: 12  
Pisteiden määrä: 18006

Kuvaus: Epätavalliseen asentoon haudattu vainaja. Mallin arviointi: Malli onnistui varsin hyvin. Tarkasteltaessa tietystä suunnasta, luiden alle kuitenkin muodostuu tyhjä alue, jota Photoscan ei pystynyt mallintamaan. Vain kaksi kuvista linjattu. Kuvat rajattiin mallin tekoa varten masking-toiminnolla, sillä kuvissa näkyi ihmisiä ja työkaluja.

## MALLI 11: HAUTA 65 v2



Kunta: Keminmaa

Kohde: Valmarinniemi

Aihe: Hauta 65 vainaja.

Kuvien määrä: 12

Pisteiden määrä: 18006

Kuvaus: Epätavalliseen asentoon haudattu vainaja.  
Mallin arviointi: Kuvia rajaavan masking-toiminnon jättäminen pois auttoi Photoscania hyödyntämään useampaa valokuvaa linjausvaiheessa (eng. align). Kuvassa pintamalli ilman tekstuureita. Vainajan oikea jalka vaikuttaisi olevan korkeammalla muuhun ruumiiseen nähden.

## MALLI 12: HAUTA 75



Kunta: Keminmaa

Kohde: Valmarinniemi

Aihe: Haudan 75 vainaja.

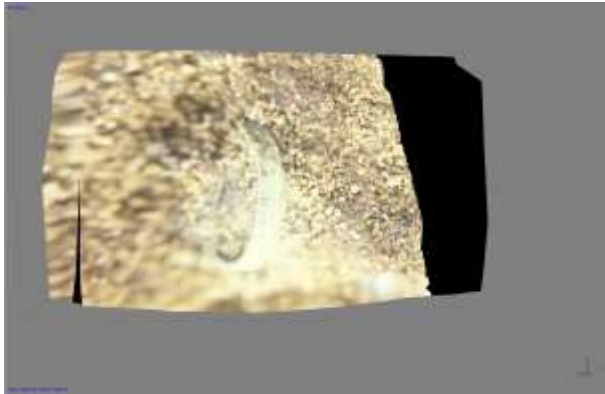
Kuvien määrä: 8

Pisteiden määrä: 26000

Kuvaus: Yhden vainajan hauta.

Mallin arviointi: Hautauksesta tehtyyn mallinnokseen jäi melko hyvät jäljet luurangosta ja vainajan asennosta. Lisäksi mittaa ei oltu siirretty kuvien ottamisen välillä, joten mittakeppi näkyy geometrisessa mallissa kohoumana. Näin malli on siirrettävissä helpommin mittakaavaan. Verkkomalli sisältää myös niin maan pintaa kuin hautauksen pohjaa, joten arvioita haudan tilavuudestakin voisi tehdä.

### MALLI 13: SORMUS HAUDASTA 75



Kunta: Keminmaa

Kohde: Valmarinniemi.

Aihe: Sormus

Kuvien määrä: 5.

Pisteiden määrä: 580

Kuvaus: Yksityiskohta hautauksen numero 75 vainajan sormessa.

Mallin arviointi: Geometrisen mallin tekeminen onnistui PhotoScan:lla, mutta kohde ei vaikuta realistiselta. Tämän voi havaita pintamallin kulmikkuudesta ja verkkomallin päälle laitetuista pikselöityneistä tekstuureista.

### MALLI 14: HAUTA 98



Kunta: Keminmaa

Kohde: Valmarinniemi.

Aihe: Yhden vainajan hauta.

Kuvien määrä: 10

Pisteiden määrä: 17849

Kuvaus: Kuvissa esiintyi poikkeamia; esineet vaihtoivat kuvien välillä paikkaa ja läheisessä toisessa haudassa tapahtuu liikettä, kun sitä oli suojattu välillä muovipusseilla. Myös valoasetukset, esimerkiksi auringonvalon suunta vaihtelee kuvien välillä. Hautaa 98 on kuvattu sekä kuivana tasona, että vainajan ja tason kastelun jälkeen.

Mallin arviointi: Vainaja on verkkomallissa aika selväpiirteinen, mutta sisälsi runsaasti häiriöitä. Rajasin Photoscanin masking-toiminnolla läheisellä hautauksella valokuvien tallentamat toimenpiteet. Malliin jäi paljon aukkoja ja epätasaisuuksia, todennäköisesti siitä syystä, että valokuvien hyödyntämä pinta-ala pieneni masking-toimintojen vuoksi.



**MALLI 15: HAUTA 130, "VILLEN HAUTA" V1-V3**



Kunta: Keminmaa  
Kohde: Valmarinniemi  
Aihe: Perhehaudaus  
Kuvien määrä: 13  
Pisteiden määrä: 18737

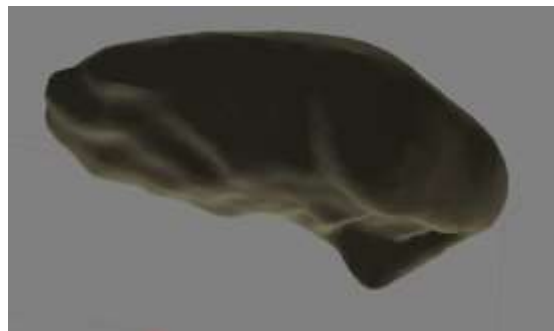
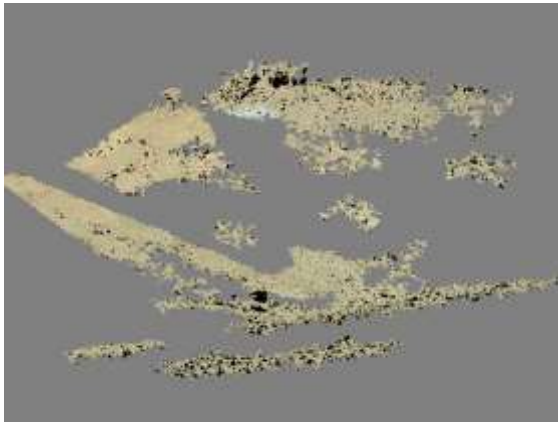
Kuvaus: Ainakin kolmen ihmisen hauta, jossa ilmeisesti vanhemmat on haudattu pitämään toisiaan käsistä kiinni.

Mallin arviointi: Verrattain hyvin onnistunut malli. Kokeilin mallin pintaan eri tekstuuriasetuksia ja eri valokuvien tekstuureita.

Haudasta oli useampiakin kuvia, joita oli otettu haudan esiinkaivuun eri vaiheissa. Valitsin mallin luomiseen kuvat, jossa vainajat oli kaivettu mahdollisimman samaan vaiheeseen. Mittana toimivaa mittakeppiä oli siirretty kaivauksen ja valokuvien oton välillä, joten mallin tekstuureihin mallintui välillä usean mittakepin kuva. Malli on yksi parhaiten onnistuneista, sillä siinä näkyy luurankojen lisäksi kuopan reunat ja pohja.

Tein mallista useita ajoja erilaisilla asetuksilla. Kokeilin eri tarkkuusasetuksia, kuten maksimi- ja minimi-tarkkuutta. Ne kuitenkin hidastivat työprosessia merkittävästi, tuomatta tarkasteluun mitään merkittävää. Asetukset muuttivat jonkin verran mallin yleisilmettä, kuten paikkasivat joitain sokeita kohtia, mutta lisäsivät sokeita kohtia muualle hautaukseen. Täydellistä aukotonta mallia en onnistunut tekemään lupaavilta näyttävistä valokuvista huolimatta.

## MALLI 16: YLEISKUVA 1



Kunta: Keminmaa  
Kohde: Valmarinniemi  
Aihe: Yleiskuvaa kaivausalueesta ja tasoista.  
Kuvien määrä: 9  
Pisteiden määrä: 7557  
Kuvaus: Asetuksien vaikutusta epäonnistuneen mallin muotoon.  
Mallin arviointi: Yritin yleiskuvan luomista eri asetuksilla, Ylempi kuva: "height field, point cloud" alempi kuva asetuksilla "arbitrary, point cloud". Asetuksista riippumatta 3D-malli on selvästi epäonnistunut. Valokuvissa kohteena oli tasaisia kaivettuja tasoja.  
Valokuvat toisiinsa liittäviä maamerkkejä ei ilmeisesti ollut tarpeeksi, jotta PhotoScan olisi onnistunut tekemään pintamallia. Valokuvissa kohteena oli tasaisia kaivettuja tasoja.

## MALLI 17: YLEISKUVA 2



Kunta: Muhos  
Kohde: Palokangas  
Aihe: Yleiskuvaa kaivausalueesta ja tasosta.  
Kuvien määrä: 11  
Pisteiden määrä: 5706  
Kuvaus: Mallissa näkyy puita, kaivausalueita, kaivaustasoja ja työvälineitä.  
Mallin arviointi: Photoscan onnistui hyödyntämään kuvista vain kahta, josta johtuen kolmiulotteisuus puuttuu lähes kokonaan. Mallia ei pysty tarkastelemaan muista kuvakulmista, vaan sitä käännettäessä se vaikuttaa ohuelta. Pintamallissa esiintyy kuoppia, jotka selvästi eivät ole kaivajien tekemiä, vaan lehvästön tuomaa häiriötä.

### MALLI 18: YLEISKUVA 3

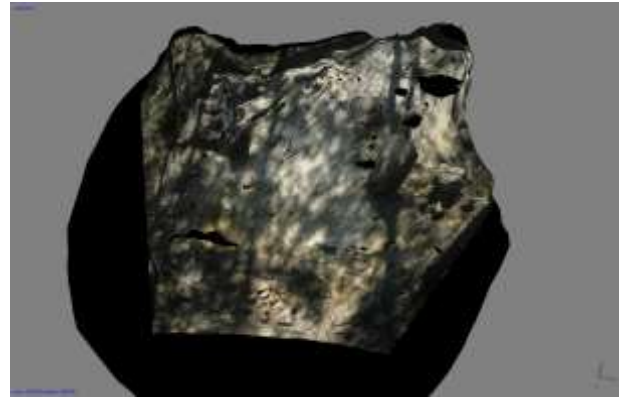
Kunta: Muhos  
Kohde: Palokangas  
Aihe: Yleiskuvaa kaivausalueesta ja kaivaustasosta.  
Kuvien määrä: 21  
Pisteiden määrä: 0  
Kuvaus: Yleiskuvia eri puolilta kaivausalueetta.  
Mallin arviointi: Mallin tarkoituksena oli mahdollisimman monen alueelta otetun yleiskuvan yhdistäminen 3D-malliksi. Agisoft PhotoScan sai linjattua kolme kuvaa 21:stä, mutta ei saanut tehtyä kohteesta mallia lainkaan. Build Geometry –toimintoa yrittäessä ohjelma antoi seuraavan virhesanoman: Can't build model. Mallintekoprosessin epäonnistuminen kertoo mielestäni valokuvien valitsemisen tärkeydestä.

### MALLI 19: YLEISKUVA 4



Kunta: Muhos  
Kohde: Palokangas  
Aihe: Yleiskuva kaivausalueesta ja kaivaustasosta  
Kuvien määrä: 5  
Pisteiden määrä: 11  
Kuvaus: Kuvattu kaivettua tasoa eri kulmista.  
Mallin arviointi: Kaksiulotteiseksi jäänyt epäonnistunut malli. Photoscan sai muodostettua kuvista vain 11 sidospistettä, eikä siksi onnistunut yhdistämään valokuvia kolmiulotteiseksi malliksi.

### MALLI 20: YLEISKUVA 5



Kunta: Muhos  
Kohde: Palokangas  
Aihe: Yleiskuvaa ja kaivaustasoa  
Kuvien määrä: 6  
Pisteiden määrä: 5852.  
Kuvaus: Enimmäkseen valmista tasoa sisältävä kohde.  
Mallin arviointi: Malli epäonnistui, vaikka valokuvia oli otettu eri puolilta kaivaustasoa. Geometrisesti pyöristynyt kuva, joka ei vastaa valokuvissa esiintyviä pinnanmuotoja. Valokuvat oli kuitenkin otettu kaivannon reunalta kallistaen kamera kohti toista kaivauksen reunaa, ja tasolla näkyy paljon lehvästön läpi suodattunutta valoa ja varjoa.



## MALLI 21: HIILIJÄLKI 1



Kunta: Muhos  
Kohde: Palokangas  
Aihe: Hiiltä kaivaustasossa.  
Kuvien määrä: 5  
Pisteiden määrä: 1772  
Kuvaus: Hiiltä tasossa.

Mallin arviointi: Vaikka kuvia aiheesta oli vähän, olivat ne hyvälaatuisia, läheltä kuvattuja ja kamera oli kohdentanut ne hyvin. Ehkä tästä johtuen tietokone onnistui linjaamaan neljä viidestä kuvasta ja malli vaikutti pinnanmuodoiltaan paremmalta kuin muut Muhoksen Palokankaan mallit. Hiilen ympärillä olevat kivet kohosivat tasosta totuudenmukaisesti, vaikka kuvaa käännettäessä niihin tuli vähän mustaa, usein kamerakulmien vähäisyydestä johtuvaa sokeaa kohtaa.

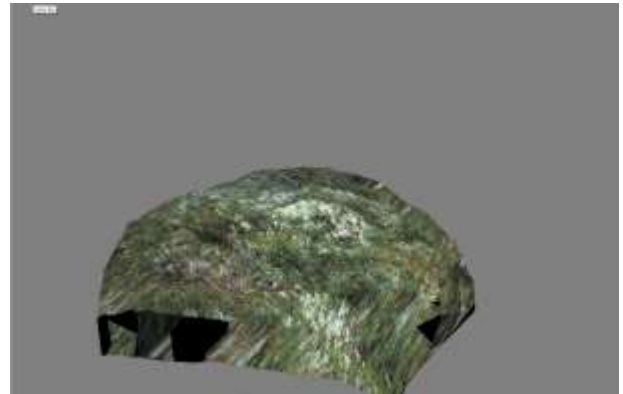
## MALLI 22: HIILIJÄLKI 2



Kunta: Muhos  
Kohde: Palokangas  
Aihe: Toinen hiililäikkä kaivaustasossa.  
Kuvien määrä: 8  
Pisteiden määrä: 4319

Kuvaus: "Kitaranmuotoinen" osa hiiltynyttä puuta  
Mallin arviointi: Mallin tekstuuri on vähän pikselöitynyt, mutta hiilialueen muodosta saa mielestäni hyvän käsityksen kolmiulotteisesta mallista. Mallissa on kuitenkin paljon häiriöitä varsinkin reuna-alueilla; kuvan keskiosassa kameran tarkentama alue on aika selkeä.

## MALLI 23: TURVE



Kunta: Muhos  
Kohde: Palokangas  
Aihe: Yleiskuva kaivausalueen lähimaastosta  
Kuvien määrä: 9  
Pisteiden määrä: 115  
Kuvaus: Yleiskuva kaivausalueesta Turvetta, puustoa ja pensaikkoo.  
Mallin arviointi: Epäonnistunut, geometrisesti pyöristynyt kuva, joka ei vastaa valokuvissa esiintyviä pinnanmuotoja. Ympäröivän kasvillisuuden geometriset ominaisuudet lienevät olleet liian samanlaisia, jotta kone kykenisi laskemaan niistä sijanteja virtuaalisille kameroille.

## MALLI 24: RÖYKKIÖ, HAAPAMAA



Kunta: Keminmaa

Kohde: Haapamaa, Röykkiö 2

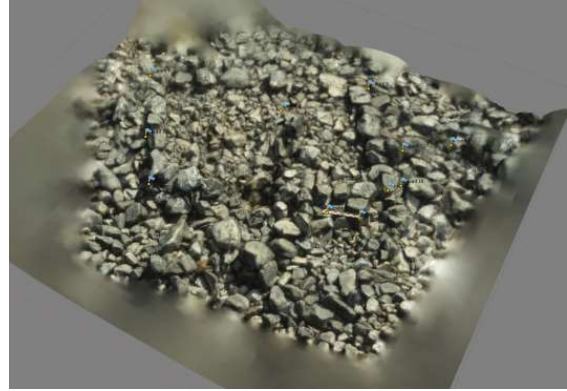
Kuvien määrä: 18

Pisteiden määrä: 33601

Kuvaus: Röykkiön taso pintamaan poiston jälkeen

Mallin arviointi: Mielestäni mielenkiintoinen ja kohtalaisen hyvin onnistunut malli. Pinnassa kuitenkin “mustia aukkoja” ja esimerkiksi piirtämisen helpottamiseksi vedetyt langat eivät mene suoraan vaan ne näyttävät menevän verkkomallissa kivien myötäisesti; kone ilmeisesti ymmärsi langan osaksi kivien tekstuuria. Selkeiden häiriöiden lisäksi mallista pystyi mielestäni erottamaan kaivauksella tulkitut ryöstökuopat ja bautakivet.

## MALLI 25: RÖYKKIÖ, KIIMAMAA



Kunta: Keminmaa

Kohde: Kiimamaa

Aihe: Röykkiö 8

Kuvien määrä: 12

Pisteiden määrä: 41029

Kuvaus: Esiin kaivettua röykkiötä pintamaan ja pienempien kivien poistamisen jälkeen. Paljastuneesta neliskulmaisesta rakenteesta oli otettu valokuvia useasta suunnasta.

Mallin arviointi: Hienosti onnistunut malli, josta pystyi erottamaan neliskulmaista muotoa. Lisäsin malliin mittakaavan pintamallissa näkyvästä pohjoisnuolesta, jonka pituus on tiedossa. Vertasin 3D-mallin leveintä kohtaa kaivauskertomuksessa ilmoitettuun leveyteen. Agisoft PhotoScan laski 3D-mallista röykkiön sisemmän kehän leveydeksi 20 senttimetriä enemmän kuin kaivauskertomus.