

Heli Lehto & Kari Uotila¹

Laserkeilaus dokumentointitapana hautakaivauksilla – Esimerkki Rauman rauniokirkolta vuodelta 2016

*Laserskanning som dokumenteringsmetod vid gravutgrävningar
– Ett exempel från Raumo ruinkyrka*

Laserskanning är en modern arkeologisk dokumenteringsmetod som används främst av kommersiella arkeologiska företag. Dess användning i fältförhållanden och i rapporteringsskedet kräver en rätt långt gående kompetens i mätning, dessutom är utrustningen som behövs kostsam. Slutresultatet är arkeologisk utgrävningsdata i 3D-format och i princip är det redan utgående från dessa data möjligt att genomföra en virtuell utgrävning i efterhand. Muuritutkimus har i flera års tid utvecklat dokumenteringen med laserskanning till en form som möjliggör att en vanlig arkeologisk arbetsgrupp kan utföra både fältskedet och rapporteringen. I gravutgrävningarna vid Raumo kyrkogård år 2016 uppnåddes detta mål. I artikeln beskrivs de olika arbetsfaserna och frågor relaterade till dessa.

Mitkä toimijat ovat 2010-luvun suomalaisen kenttärkeologian kehittäjiä? Voidaanko Museovirastoa ja sen laatimaa laatuohjetta, Salavaa, pitää arkeologisen dokumentoinnin uusimpien ohjeiden käsikirjana? Pitäisikö kenttädokumentoinnissa pyrkiä ylittämään laatuohjeet, vai riittääkö se, että rima ei putoa? Miksi dokumentoida 3D-aineistoa, kun 2D riittää karttojen tuottamiseen? Miten yliopistoilla tehty tutkimus- ja opetustyö siirtyy todelliseksi tehokkaaksi kenttätöiminnäksi? Ovatko akateemiseen maailmaan kuuluvat avoimen lähdekoodin oppilaitosohjelmistot toimiva malli myös siellä missä on oikea arkeologinen kenttätilanne?

Arkeologisen kenttätöiminnan monopoli murtui muutamia vuosia sitten. Tämän jälkeen eri toimijoiden kehittämistoiminta on muuttunut aikaisempaa selvemmin sisäiseksi kehittämistyöksi. Laajempaan vuoropuheluun eivät ole kunnustaneet myöskään parin viime vuoden aikana tapahtuneet akateemisten tutki-

joiden ulostulot, joissa kenttätöitä ammatikseen tekeviä tahoja on arvioitu hyvin kriittisesti.

Muuritutkimuksella on digitaalisen dokumentoinnin kysymyksiin keskitytty jo vuosikymmeniä. Viimeisimpänä kehityskohteena on ollut tehokkaan laserkeilainkaluston kenttäkäyttö normaaleissa kaivauskohteissa. Tätä kehitystyötä on tehty vuodesta 2010 lähtien, ja voidaan todeta, että tässä artikkelissa esitellyssä Rauman hautausmaan kaivauksessa vuodelta 2016 asiat alkoivat jo sujua toivotulla tavalla. Tuotantokelpoinen ja tasalaatuinen järjestelmä, jonka perusasiat ovat arkeologienkin kentällä opittavissa, on saatu laadittua.

Tässä artikkelissa kuvaillaan laserkeilauskaluston käyttö laajassa kenttäkohteessa Raumalla 2016, ja esitellään kokonaisuutena onnistuneen dokumentointityön eri vaiheet. Kokemusten perusteella nostetaan myös tulevaisuuden näkymiä, joissa digitaalisen dokumentoinnin rooli on

merkittävä. Artikkelin kirjoitusvastuu on jaettu niin, että Heli Lehto on vastannut kenttämittaustyön kuvauksesta ja kuva-aineistoista, ja Kari Uotila menetelmän yleisestä kuvauksesta ja kehittämisuunnista. Työryhmään ovat kuuluneet myös graafisen alan opiskelija Miamarie Peura ja Rauman Vanhankirkonkadun hautausmaan kaivausryhmä.

Digidokumentoinnin tutkimustilanne

Suomalainen digiarkeologinen kehitystyö on pitkään nojannut lähinnä fotogrammetriseen dokumentointiin, jolla on Suomessa sekä pitkä kehityshistoria että myös uusimpia kehityssuuntia (esim. Ratilainen 2009; 2011). Agisoftin PhotoScan-ohjelman myötä menetelmä on tullut useille tutkijoille tutuksi, ja sen käyttöä on tarkasteltu useissa uusissa tutkimuksissa ja opinnäytetöissä (esim. Debenjak 2015; Haapakangas 2016; Oikarinen 2015; Ruotsala 2016).

Laserkeilaus dokumentointimenetelmänä on ollut vähäisemmässä roolissa erityisesti hautausmaiden tutkimuksessa. Siihen on ollut osasyynä Huhtiniemen mitauskokeilut, joissa laserkeilauksen todettiin olevan epäedullinen dokumentointitapa haudoille (Heiska & Heinonen 2007). Kuten Seitsonen ja Holappa (2007: 41–42) ovat kuitenkin todenneet, Huhtiniemen kuvastama dokumentointitilanne muuttuneen tulevaisuudessa. Noista ajoista mitauskalustot, ja ilmeisesti myös ohjelmistot, ovat kehittyneet niin, että Huhtiniemen dokumentointikuvausta voi pitää lähinnä historiografisena esimerkkinä varhaisesta kiinnostuksesta kehittää uusia dokumentointimenetelmiä. Samalla tavoin on selvää, että Raumalla 2016 tehty dokumentointi vanhenee menetelmäkuvauksena muutamassa vuodessa.

Muuritutkimuksen historia laserkeilauksessa

Digitaaliset kenttä- ja raportointimenetelmät, arkeologisten rutiinityötehtävien automatisointi ja tasalaatuistaminen, yksittäisten henkilöiden dokumentointitaidoista riippuvasta dokumentoinnista irtaantuminen ja kenttädokumentoinnin prosessien nopeuttaminen ovat olleet Muuritutkimus -yrityksen merkittävimpiä kehittämissuuntia. Tätä työtä ovat sivonneet myös useat Kari Uotilan johtamat erilaiset tutkimushankkeet. Akateemisten hankkeiden hintana on ollut uusien menetelmien, kokeilujen ja harhapolkujen avoin arviointi ja tiedonjako yritystoiminnan kustannuksella (esim. Uotila 2007).

Muuritutkimuksella digitaalisen dokumentoinnin juuret ovat 1990-luvun alkupuolen takymetrimittauksen kehittämisessä, ja 1990-luvun lopulta lähtien myös fotogrammetrian toimivien menetelmien testaamisessa. 2000-luvun alkuvuosina Muuritutkimus oli esimerkiksi mukana ulkojäsenenä EPOCH -hankkeessa, jossa laajasti kehitettiin työkaluja kulttuurisektorin digitalisointiin (http://public-repository.epoch-net.org/publications/RES_AGENDA/research_agenda.pdf).

Vuodesta 2002 lähtien tehtiin tutkimusta Suomalaista virtuaaliarkeologiaa (SuVi) -hankkeiden kautta (esim. Uotila & Tulkki 2001; Lehtonen & Uotila 2004). Tuolloin kehitettiin ja testattiin eri dokumentointimenetelmiä ja koulutettiin erilaisten kurssien puitteissa kymmeniä arkeologian ja konservoinnin opiskelijoita (Uotila & Huvila 2005). Vuosina 2001–2010 opetus keskittyi Turun yliopiston arkeologian oppiaineeseen ja Aboa Vetusta -museon raunioihin (Uotila 2009).

Vuodesta 2008 lähtien kansainvälisesti jo pitkään käytössä ollut pistepilvimittaus alkoi tulla mahdolliseksi myös pienessä yrityksessä. Takymetrin, harvan pistepilviaineiston ja fotogrammetrian yh-

distelmä oli jo varsin toimiva kenttätökalu vuosien 2008–2010 aikana, ja sen koulutukseen ja harjoitteluun panostettiin merkittävästi (Uotila 2009; 2010b; 2011).

Faro Focus 3D:n tulo markkinoille, sen helppokäyttöisyys ja suhteellisen edulliselta vaikuttanut hinta, johdattivat yrityksen vuoden 2010 lopulla laserkeilauksen puolelle. Vuosien 2011–2012 aikana kertyneet käyttökokemukset kenttäolosuhteista olivat kannustavia. Toisaalta kaluston mittaustapojen heikko pitkän matkan tarkkuus, kuvien matala laatu ja ohjelmassa tuolloin olleet ongelmat olivat selviä ki-

pupisteita. Kenttätöistä tuloksen tekevässä yrityksessä dokumentoinnin pitää toimia tehokkaasti ja luotettavasti silloin kun kaivauksia tehdään, ei joskus tulevaisuudessa.

Vuoden 2012 lopulla Faro vaihdettiin käytettyyn Riegl vz-1000 laserkeilaimeen. Perusteena olivat monipuolisemmat mittaumahdollisuudet ja kenttäolosuhtekestävyys, mittausmatkan merkittävä kasvu ja tarkkuus sekä kamerakaluston parempi laatu. Kalustoa on käytetty vuodesta 2013 lähtien erilaisilla arkeologisilla kohteilla, ja vähitellen kaluston ja ohjelmiston toiminnallisuudessa on päästy tuottavalle tasolle.



Kuva 1. Helsingin yliopistossa järjestetyn laserkeilauskurssin opiskelijat tekevät mittauksia Turun linnalla. Käytössä ovat sekä laserkeilain että takymetri, joita molempia tarvitaan Raumalla käytetyssä dokumentointitavassa. Kuva: K. Uotila.

Laserkeilausta arkeologisena dokumentointimenetelmänä on vuodesta 2013 lähtien opetettu Helsingin yliopistolla. Viimeiseksi keväällä 2016 on järjestetty kurssi, jonka käytännön toteutus järjestettiin Muuritutkimuksen tiloissa ja kenttäkohteessa (Turun linna). Kurssin aikana opiskeltiin pienryhmissä aineiston perusmuokkaus toimistolla ja sen jälkeen laserkeilauksen vaiheet aidossa kenttätötilanteessa (kuva 1). Kurssin tavoitteena oli kehittää pidemmälle ehtineille opiskelijoille myönteinen suhtautuminen digitaaliseen dokumentointiin ja kehittää heidän itsenäisiä kenttävalmiuksiaan kaluston ja ohjelmiston käyttöön. Tämä kurssi oli yhtenä pohjana Rauman hautausmaan dokumentointivalinnalle.

Muuritutkimus on myös mukana EU:n rahoittamassa COST -hankkeessa (http://www.cost.eu/COST_Actions/ca/CA15201), jonka tarkoitus on koota yhteen arkeologian alan eri toimijat Euroopassa kansallisista instituutioista yksityisiin yrityksiin, jotta digitaalisen tiedon tuottamista, arkistointia ja käyttöä voidaan kehittää laaja-alaisemmin. Siinä yrityksen kehittämisanostus on kenttädokumentointityöskentelyssä. Helsingin yliopiston kurssi ja sitä seurannut kenttätöväihe Raumalla ovat yksi Muuritutkimuksen verkoston piiriin kuuluvista hankkeista.

Rauman Vanhankirkonkadun hautausmaa

Rauman Pyhän Kolminaisuuden kirkon pohjoispuolella, Vanhankirkonkadulla, aloitettiin arkeologiset kaivaukset syksyllä 2015, kun kaivinkonevalvonnan yhteydessä tien alta tuli esille ihmisluita. Syksyn 2015 aikana alueelta kaivettiin 64 hautaa, jotka dokumentoitiin käsin piirtämällä (Helamaa & Uotila 2016: 7). Kesän 2016 kenttäkauden aikana esille tuli 116 hautaa, joiden pääasiallisena dokumentoin-

timenetelmänä käytettiin laserkeilausta. Yhteensä 65 vainajaa dokumentoitiin Riegl vz-1000 laserkeilaimella. Loput haudoista olivat joko niin huonossa kunnossa, että niistä ei katsottu saatavan riittävän hyvää laserkeilausmateriaalia, ne olivat tyhjiä tai ne ulottuivat nykyisen kirkkomuurin alle, eikä niitä kaivettu esille. Näiden hautojen mittausdokumentointiin käytettiin takymetriä, jolla mitattiin myös arkkujen havaitut ääriviivat ja esiin tulleet löydöt. (Uotila & Lehto 2017: 3, 7.)

Keilaustapa

Riegl-keilainta käytettiin Rauman kohteessa itsenäisenä laitteena ja mittaukset tallennettiin muistitikulle, josta ne siirrettiin kenttätöimistolla tehokkaaseen kannettavaan. Keilainta voidaan käyttää myös suoraan tietokoneelta, mutta sitä ei kenttäolosuhteissa ryhdytty kokeilemaan. Tämä siksi, että keilausaineistot ovat hyvin suuria, ja kenttäkelpoiset kannettavat eivät kykene pyörittämään niitä. Erityisesti tarkkojen yksityiskohtakeilausten aineiston suuri koko on haaste sekä tiedonsiirrolle että aineiston tarkastelulle.

Mittauksena käytettiin Riegl vz-1000:n täyden aallon mittauksena, jossa matkan lisäksi mittausaineistosta saadaan monipuolisesti myös muuta tietoa. Aineistoa hyödynnettiin RiScan Pro -ohjelman tarjoamassa muodossa, jolloin aineistosta voidaan erotella hyvissä olosuhteissa esimerkiksi erilaiset pintamateriaalit. Valittu mittauksena lisää mittausaikaa ja kasvattaa aineiston kokoa.

Kolmas nykyiseen kalustoon liittyvä tekninen mahdollisuus on se, että keilausasetusta voidaan tehdä hdr-tekniikalla viiden kuvan sarja. Tätä tapaa käytettiin Raumalla aurinkoisella säällä sekä tarkoissa yksityiskohtakeilauksissa. Se mahdollistaa julkaisukelpoisten hdr-kuvien saannin ja kuvauksellisesti hankalista varjoisista

alueista saadaan kuva-aineisto talteen eri valotusajoilla. Myös tämä valinta lisää sekä dokumentointiaikaa että aineiston kokoa.

Kentällä

Laserkeilauksen kenttätyövaihe oli Raumalla suoraviivainen ja melko yksinkertainen prosessi. Käyttäjäryhmällä oli jo useamman kohteen ja vuoden kokemus kaluston käytöstä, ja useimmilla myös taustalla Muuritutkimuksen järjestämä kurssi.

Eri toimintatapoja, kuten keilaimen oma gps, tarkkuus-gps, harva tähysmäärä ja mitattu keilaimen sijainti, testattiin laajasti vuosien 2014–2015 aikana esimerkiksi Rauman Ellinniityn esiroomalaisella asuinpaikka- ja röykkiökohteella (Uotila ja Helamaa 2015; Uotila ja Lehto 2016). Sieltä saatujen kokemusten perusteella Rauman hautausmaan keilausten asemointitavaksi valittiin noin 20 tähyksen rypäs, johon jokainen keilaus sidottiin kiinni itsenäisesti.

Kaivausalueelle rakennettiin kaivausten alkuvaiheessa kiinteät tähykset (noin 10 kpl), joita sitten täydennettiin kaivettavan alueen ja kaivausten mukaan sijoitetuilla siirrettävillä tähyksillä (noin 10 kpl). Siirrettävät tähykset mitattiin päivittäin. Tähyksinä käytetyt tarrat kestivät hyvin kahden kuukauden mittaiset kenttätöitä. Valittu menetelmä oli mahdollinen, koska osana dokumentointikalustoa oli käytössä prismaton takymetri, jolla tähykset saatiin mitattua vaivattomasti paikalleen.

Keilaukseen kuluva aika on riippuvainen valitusta mittaustarkkuudesta, kerättävän keilausaineiston laatuvaatimuksesta, kuvaustavasta ja tähystarrojen mittauksista. Rauman haudat keilattiin pääsääntöisesti tarkkuudella, jossa kymmenen metrin päässä keilaimesta pisteet ovat neljän millimetrin välein. Käytetyllä laitteistolla täyteen 360 asteen keilaukseen

menee tällä tarkkuudella kolme minuuttia. Tämän lisäksi haudat keilattiin samoista asemista niin, että keilain oli kallistettuna 45 asteen kulmaan haudan yläpuolelle. Näissä kallistetuissa keilauksissa pistetähteytenä käytettiin yhtä millimetriä kymmenen metrin päässä. Tarkoista keilauksista otettiin myös hdr-kuvat.

Kokonaisuutena yhden keilausase-
man mittausaika oli noin 10–15 minuuttia, jolloin neljästä suunnasta keilatun haudan dokumentointiaika oli 40–60 minuuttia. Tarkoissa kallistetuissa keilauksissa aikaa kului enemmän. Useamman vierekkäisen haudan kokonaisuuksissa käytetty mittausaika hautaa kohden lyheni. Keilausasemien sitominen tähyksiin on koko kenttäprosessin hitain työvaihe. Mitattavien tähyksien määrää harventamalla, ja kuvaustavan muutoksella hdr-kuvauksesta (25 kuvaa) normaaliin panoraamaan (5 kuvaa), saadaan yhdessä keilausasemassa käytetty aika supistettua noin 5–6 minuuttiin ja neljän aseman keilaus reilun 20 minuutin työvaiheeksi.

Aineiston tarkastaminen kenttätoimistolla

Kun kaikki keilaukset oli suoritettu, saatu pistepilviaineisto tarkistettiin kenttätoimiston tehokkaalla kannettavalla tietokoneella. Rauman tapauksessa tämä tehtiin niin, että aineisto avattiin Rieglin omassa RiScan Pro -ohjelmassa, ja keilaukset yhdistettiin tähyksen avulla. Yhdistäminen kesti noin 2–3 minuuttia. Yhdistetystä pistepilvestä tarkastettiin kokonaisuuden onnistuminen ennen kuin vainajat nostettiin. Mikäli jokin keilausasema oli epäonnistunut, se voitiin uusua.

Raumalla valittu dokumentointimalli oli mittaustilanteessa suhteellisen hidas, mutta lopputulos oli tarkistettavissa käytännössä saman tien. Ajankäytön osalta voidaan tehdä valintoja, jossa kentällä mi-

tataan nopeammin, ja isompi osa yhdistämistyöstä siirretään toimistolle.

Tuotettu aineisto

Laserkeilauksen lopputuloksena on kaivauskoordinaatistoon sidottu 3D-dokumentointiaineisto, jossa on miljoonia pisteitä. Tämän lisäksi keilaimeen liitetty digijärjestelmäkamera on ottanut keilatusta kohteesta kuvat, joista voidaan tehdä koor-

dinaateissa paikallaan oleva ortokuva. Niiden avulla myös pistepilviaineisto voidaan värjätä todellisuutta vastaavaksi (kuva 2). Laadullisesti kameran kuvista värjätystä pistepilviaineistosta saadaan toimiva kuva, mutta se on usein todellisuutta tummempi ja valotuksellisesti suhteellisen herkkä. Jos arkistointiin hyväksyttäisiin ortokuvat, hauta olisi dokumentoitu valmiiksi saakka jo kentällä.



Kuva 2. Yhden keilausaseman tuottama kenttäolosuhteissa värjätty pistepilvi, jossa näkyvät Rauman Vanhankirkonkadun haudat H166, H167 ja H168 sekä niiden ympäristöä. Kuva H. Lehto ja K. Uotila.

Aineiston muokkaus raporttivaiheessa

Laserkeilausaineiston 3D-mallista on monipolvinen ja hyvin työvaltainen matka perinteiseen 2D-muodossa piirrettyyn polyline-viivaan ja sen mahdolliseen rasterointiin. Rauman aineiston osalta tehtiin testejä kaikilla pistepilviaineiston eri vaihtoehdoilla (RiScan Pro ja Kubit/Faro pointcloud heritage). Pistepilviaineistoon 3D-polylinen piirtäminen on haastava työvaihe, koska viivan tartuntapisteitä on vaikea hallita tarkkaan keilausohjelmassa.

Testaustyön tuloksena 3D-viivan piirron kannalta parhaaksi valikoitui työtap, jossa yhdistetystä keilausaineistosta leikataan erilleen dokumentoidut

haudat. Näistä muodostetaan 3D-mesh-volumemalli, jonka pinta muodostaa mitatun haudan kaivaushetken pinnan (kuva 3). Tämän mallin tarkkuudeksi määriteltiin 5 mm. Tähän pintamalliin piirrettiin 3D-polylinellä kaikki aineistossa näkyvät haudan osat ja erotettavissa olevat luut. Piirtämisen tarkkuus määriteltiin niin, että valmiit vainajakartat tulostetaan mitakaavassa 1:20.

Saatu 3D-polylineaineisto siirrettiin AutoCad-ohjelmaan, jossa aineistoa voitiin vielä verrata esimerkiksi takymetrillä mitattuihin tietoihin löydöistä, tai arkun asemasta kaivauksen eri vaiheissa. Oikeassa korkeusasemassa oleva 3D-aineisto muunnettiin 2D-muotoon (jolloin korkeustieto poistuu), ja aineistosta tehtiin raporttiin so-



Kuva 3. Rauman Vanhankirkonkadun haudat H166, H167 ja H168 RiScan Pro-ohjelmassa käsiteltynä valmiina 3D-mallina. Kuva M. Peura ja K. Uotila.

veltuvat viivapiirroksiset ja tarpeen vaatiessa lisättiin erilaiset rasterit.

Yksittäisen haudan osalta mesh-muotoon pääsy on noin kahden tunnin työvaihe. Sen jälkeen 3D-polylinen piirtäminen on kiinni toisaalta vainajan säilyneisyysasteesta, ja toisaalta piirtäjän kokemuksesta hautojen piirtämisen ja luiden erottamisen osalta. Arviona työvaihe kestää kahdesta kolmeen tuntiin. Tämän jälkeen aineiston siirto ja muokkaus osaksi muuta kartta-aineistoa on noin kahden tunnin työvaihe. Voidaan siis arvioida, että yhden vainajan piirtämiseen raporttiin tarvittavaan 2D-muotoon mittakaavaan 1:20 kuluu yksi työpäivä. Kokenut aineiston käsittelijä voi päästä samaan lopputulokseen neljässä tai viidessä tunnissa.

Yhteenvetona työprosessista voi todeta, että vainajan dokumentointi laserkeilaamalla kestää kentällä 30–60 minuuttia, minkä jälkeen vainajasta on olemassa sekä 3D-malli että ortokuva. Mallin tarkkuus on alle 1 cm. Arviolta yhden raporttityöpäivän jälkeen vainaja on saatettu perinteiseen dokumentointitasoon saakka, ja siitä on tullut 2D-muodossa oleva viiva- tai rasteripiirros.

Huominen on jo täällä

”Kaikki Kreikassa tehtävät arkeologiset tutkimukset pitää tulevaisuudessa dokumentoida laserkeilaamalla – tai ainakin fotogrammetrisesti kuvata. Takymetri kuuluu 1990-luvun arkeologiaan”. (Theodora Moullou, COST-ARKWORK, helmikuu 2017).

1990-luvulta lähtien on digiarkeologien keskuudessa eletty, tai haaveiltu eletävän, ajassa, jolloin kentällä tehtävä dokumentointi on kokonaan kolmiulotteista, ja sen tuloksena syntyy virtuaalinen kaivausaineisto, johon voidaan palata jälkikäteen ja todentaa tehdyt tulkinnat.

2010-luvun kuluessa laserkeilaus ja fotogrammetria ovat tuoneet tämän hetken lähemmäs todellisuutta, ja voi ajatella, että se tulevaisuushaave on jo täällä (esim. Dell’Unto 2014). Siirtyminen kokonaisvaltaiseen 3D-dokumentointiin ja aineiston palauttamismahdollisuuden käyttöönotto tulevat muuttamaan arkeologista dokumentointia laajemmin ja syvemmin kuin Harrisin matriisi 1980-luvulla tai robottitakymetri 1990-luvulla.

Uusi aika ei vain muuta dokumentointitapoja tai pakota arkistointia taipumaan uusiin vielä tuntemattomiin muotoihin. Sen merkittävin murros koskee arkeologista tutkimustyön kuvaa, jossa katoaa lopullisesti sellainen henkilöstöryhmä kuin piirtäjät. Nyt teollisen internetin keinoin voidaan dokumentoida tarkkaan ja tasalaatuisesti erilaisia arkeologisia ilmiöitä, ja vielä palauttaa ja uudelleen arvioida jo kerran kaivettua aineistoa.

Kentällä kaivausjohdon rinnalla toimineen piirtäjäkunnan tilalle on jo tullut tai tulossa teknistä mittausdataa jalostavat henkilöt, joiden taustakoulutuksessa arkeologian osuus on tärkeä kysymys. Teknisen koulutuksen saaneille laserkeilausohjelmat, erilaiset sovellukset ja viikoittain muuttuvat ohjelmistoformaatit ovat arkipäivää, ja he pystyvät helposti omaksumaan arkeologisen datan muokkauksen peruspiirteet. Haasteena on kuitenkin se, että heillä ei ole tietotaitoa tai mielenkiintoa niihin kysymyksiin, joita arkeologi tarkastelee ja arvioi aineistostaan.

Bibliografia

Julkaisemattomat lähteet

- Haapakangas, P. 2016. Vanhojen kaivausvalokuvien uudelleenhyödyntäminen arkeologiassa – 3D-mallit ja niiden analyysi. Pro gradu -työ, Oulun yliopisto.
- Heiska, N. & Heinonen, H. 2007. Liite 8. Laserkeilaus Huhtiniemessä 1.–27.10.2006. Tutkimusraportissa M. Lavento, H. Ranta, A. Sajantila & E. Vuori: Lappeenrannan Huhtiniemen arkeologiset ja oikeuslääketieteelliset tutkimukset 1.10.–27.10.2016. Museovirasto.
- Helamaa, M. & Uotila, K. 2016. Rauma Vanhankirkonkatu – Historiallisen ajan kaupunki- ja hautakaivaus sekä konekaivuun valvonta 12.10.–7.12.2015. Muuritutkimus ky.
- Ruotsala, A.-H. 2016. Digital Close-Range Photogrammetry – A Modern Method to Document Forensic Mass Graves. Pro gradu -työ, Helsingin yliopisto.
- Uotila, K. & Helamaa, M. 2015. Rauma, Ellinniitty 2014 – Varhaisrautakautinen röykkiökaivaus. Muuritutkimus ky.
- Uotila, K. & Lehto, H. 2016. Rauma, Ellinniitty 2015. Muuritutkimus ky.
- Uotila, K. & Lehto, H. 2017. Rauma, Vanhankirkonkatu – Historiallisen ajan hautakaivaus 16.5. – 25.7.2016. Muuritutkimus ky.
- Heiska, N. 2008b. Marcus Lucretiuksen talon mittausdokumentointi. Teoksessa P. Castren (toim.), *Domus Pompeiana Talo Pompeijissa*. Näyttelykirja. Amos Andersenin taidemuseo, Helsinki, 1.3.–25.5.2008. Otava.
- Heiska, N. 2009: Aboa Vetuksen raunioiden laserkeilaus. Mittaustekniikan uudet mahdollisuudet kulttuuriperinnön dokumentoinnissa. Teoksessa Muhonen, T. & Lehto-Vahtera, J. (toim.), *Ikuinen raunio*: 86–95. Aboa Vetus & Ars Nova. Raisio.
- Lehtonen, H. & Uotila, K. 2004. Digitization of stratigraphy. Experiences from the excavation of the medieval town of Naantali. *Meta 2* / 2004: 57–63.
- Oikarinen, T. 2015. Arkeologia digitaalisen aikakauden kynnyksellä. *Acta Universitatis Ouluensis B Humaniora* 132. Oulun yliopisto, Oulu.
- Ratilainen, T. 2009. Digitaaliset tutkimus- ja dokumentointimenetelmät rakennusarkeologin näkökulmasta – kohteena Hattulan Pyhän ristin kirkko. Teoksessa H.-M. Pellinen (toim.), *Maasta, kivistä ja hengestä. Markus Hiekkänen Festschrift*: 192–208.
- Ratilainen, T. 2011. To Study Medieval Brick Building Technique by Applying Digital Surveying Methods Cases: Holy Cross Church of Hattula and Häme Castle. Teoksessa K. Uotila (toim.) *Castella Maris Baltici X. AMAF XVIII*.
- Seitsonen, O. & Holappa, M. 2011. Dokumentointi ruumishautakaivauksilla: Esimerkki Lappeenrannan Huhtiniemestä. Teoksessa K. Salo & M. Niukkanen (toim.) *Arkeologisten hautakaivausten menetelmät. Museoviraston rakennushistorian osaston raportteja* 22: 36–46.
- Uotila, K. & Huvila, I. 2005. The Education of Little Archaeologist. Reflections on the Digital Education and Training of Archaeologist Professionals. *The Proceedings of the Workshop 10: Archäologie und Computer* 7.–10. November 2005. Stadtarchäologie Wien. Wien 2006. CD
- Uotila, K. & Tulkki, C. 2001. Three-dimensional excavation plans and 3Dstudio Max - Experiences from the excavations of the medieval town of Naantali, Finland

Kirjallisuus

- Dell'Unto, N. 2014. 3D models and archaeological investigation. Teoksessa I. Huvila (toim.). Perspectives to archaeological information in the digital society. *Meddelanden från Institutionen för ABM vid Uppsala universitet* Nr 5: 55-71. Uppsala University.
- Debenjak, A. 2015. 3D-mallintaminen osana arkeologista arkea? Digitaalisen fotogrammetrian käyttö arkeologisessa dokumentoinnissa ja tutkimuksessa. *Muinaistutkija* 1/2015: 24–34.
- Heiska, N. 2008a. Laserkeilaus mittaus- ja mallinnusmenetelminä. *Muinaistutkija* 4/2008: 34–45.

- (English summary). CAA Gotland 2001. Archaeological Informatics - Pushing the Envelope. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology Conference 2001. *BAR 1016*: 427–430.
- Uotila, K. 2007. Digitaalinen dokumentointi historiallisen ajan arkeologian kohteissa eilen - tänään - huomenna. *SKAS 3/2007*: 12–20.
- Uotila K. 2009. Aboa Vetus. Rauniokohde ja sen tutkimus. Teoksessa T. Muhonen & J. Lehto-Vahtera (toim.) *Ikuinen raunio*: 42–63. Aboa Vetus & Ars Nova. Raisio.
- Uotila, K. 2010a. Kenttädokumentoinnin kehityksen näkymät ja ammattiarkeologien elinkaarioppiminen. *Arkeologipäivät 2009*: 16–21. Suomen arkeologinen seura.
- Uotila, K. 2010b. Perditurus. Project to preserve and research Nordic Medieval Town Culture. *Proceedings of the 15th International Conference on "Cultural Heritage and New Technologies". Vienna 2010*. cd +ebook. s. 590–605. http://www.stadtarchaeologie.at/wp-content/uploads/eBook_WS15_Part4_Sessions2.pdf (29.1.2012.)
- Uotila, K. 2011. Learning Building Archaeology at the Aboa Vetus Ruins and Saari Manor in the Years 2005–2010. Teoksessa J. Harjula, M. Helamaa & J. Haarala (toim.) *Times, Things & Places. 36 Essays for Jussi-Pekka Taavitsainen*: 100–105. Raisio 2011.
- FM Heli Lehto on arkeologi, joka on ollut töissä useilla Muuritutkimuksen kaivauksilla sekä kenttäjohtajana että tutkijana. helim.lehto@helsinki.fi
- FT Kari Uotila on Muuritutkimuksen perustaja ja johtaja. Hän on myös sekä Helsingin että Turun yliopistojen arkeologian dosentti. kuotila@muuritutkimus.com

Loppuviite

- 1 Tähän artikkeliin liittyvä tutkimustyö on ollut FT, dosentti Kari Uotilan osalta Teollisen kulttuurin tutkimusrahaston tuke-
maa.