



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Otto Salmivaara

360°-kameran hyödyntäminen laitos- suunnittelutyössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

1.5.2020

Tekijä Otsikko	Otto Salmivaara 360°-kameran hyödyntäminen laitossuunnittelutyössä
Sivumäärä Aika	39 sivua 1.5.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	energiatekniikka
Ohjaajat	lehtori Juha Kotamies osastopäällikkö Mika Makkonen
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli perehtyä 360-kameran hyödyntämiseen laitossuunnittelutyössä. Työhön kuului ennakkotutkimusta 360-kameroiden toimintaperiaatteesta sekä kenttäkoe asiakkaan tiloissa testikäytössä olleella Garmin Virb 360 -kameralla. Sen lisäksi työssä selvitettiin pallomaisten panoraamakuvien soveltuvuutta 3D-mallien tekemiseen fotogrammetrisesti. Työ tehtiin Sweco Industry Oy:lle.</p> <p>Tämän insinööriyön yhteydessä perehdyttiin kuuteen fotogrammetriaohjelmaan. Ohjelmien toimintaa testattiin kahdella sarjalla valokuvia. Ensimmäinen sarja koostui kännykkäkameralla otetuista suorakulmaisista valokuvista ja toinen sarja Garmin Virb 360 -kameralla otetuista pallomaisista panoraamakuvista. Tutkimusten perusteella voitiin todeta, että 360-kamera ei sovellu kovinkaan hyvin 3D-mallien tekemiseen fotogrammetrisesti. Tässä työssä käytetyistä kuudesta fotogrammetriaohjelmista vain kaksi onnistuivat luomaan 3D-mallin pallomaisten panoraamavalokuvien pohjalta. Mallit olivat kuitenkin sen verran epä-tarkkoja, että niistä ei ole käytännön hyötyä laitossuunnittelun kannalta.</p> <p>Selvityksen perusteella 360-kamera kannattaa kuitenkin ottaa laajempaan käyttöön laitossuunnittelutyössä. Pallomaiset panoraamakuvat tallentavat ympäröivää tilaa huomattavasti kattavammin kuin älypuhelin kamerat. Tietyissä tilanteissa 360 asteen valokuvista on suositeltavaa tehdä virtuaalikerros jollakin siihen tarkoitettu ohjelmalla.</p>	
Avainsanat	360-kamera, fotogrammetria, laitossuunnittelu

Author Title	Otto Salmivaara Utilizing a 360-Degree Camera in Plant Engineering
Number of Pages Date	39 pages 1 May 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and Environmental Engineering
Professional Major	Energy Production Technology
Instructors	Juha Kotamies, Senior lecturer Mika Makkonen, Department manager
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to study the possibilities of utilizing 360-degree camera in the plant engineering process. The thesis project consisted of a research phase and practical phase where the basic principles of spherical camera were investigated in detail. Field experiment were conducted in customers facility with Garmin Virb 360 spherical camera. In addition, the use of spherical images in photogrammetry were studied. The thesis was done for Sweco Industry Oy.</p> <p>In this thesis six different photogrammetry software were tested with two sets of photographs. The first set consisted of rectangular photos taken with a smartphone camera and the second set consisted of spherical images taken with a Garmin Virb 360 camera. The results suggested that 360-degree camera is not very suitable for photogrammetry. Only two photogrammetry software out of six succeeded in creating a 3D model based on spherical images. However, the models were so imprecise that they had no practical use in plant engineering.</p> <p>On the basis of the results of the thesis, it is, nevertheless, recommended that the 360-degree camera should be taken into wider use in plant engineering. Spherical camera captures the surrounding space much better than smartphone cameras. It is useful in certain situations to convert spherical images into virtual tour by connecting images with virtual tour software.</p>	
Keywords	360-degree camera, photogrammetry, plant engineering

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sweco	2
3	360°-kamera	2
3.1	Panoraamakuva	2
3.2	360°-kamera	4
3.3	Garmin Virb 360	4
3.3.1	VIRB MOBILE	7
3.3.2	Virb Edit	8
3.3.3	Kameran lisäosat	8
4	Laitossuunnittelu	8
4.1	Laserkeilaus	11
4.2	Muut mittaustavat	13
4.3	360°-kameran hyödyntäminen laitosuunnittelussa	13
5	3D-mallin tekeminen valokuvista	15
5.1	Fotogrammetria	16
5.2	Käytetyt fotogrammetriaohjelmistot	19
5.2.1	COLMAP	19
5.2.2	AliceVision Meshroom	21
5.2.3	Metashape	22
5.2.4	Pix4D	24
5.2.5	Autodesk ReCap Pro	27
5.2.6	Regard3D	28
5.3	Walkabout Worlds -ohjelma	28
6	Case: kaukolämpöpumppuprojekti	29
7	Pohdintaa	30

8 Yhteenveto

35

Lähteet

36

Lyhenteet

4K	4K-kuvalla viitataan videokuvan vaakapikseleiden määrään, joka on noin 4000. Yleensä 4K-kuvalla tarkoitetaan videokuva, jonka resoluutio on 3840 x 2160.
FHD	Teräväpiirtovideokuva (Full HD), jonka resoluutio on 1920 x 1080. FHD:stä käytetään myös nimityksiä 2K ja 1080p.
fps	Kuvataajuus (frame per second). Videotekniikassa käytetty termi, joka määrittää, kuinka monta kuvaa kamera tallentaa tai näyttö piirtää sekunnin aikana.
NFC	Near Field Communications. NFC on tiedonsiirtotekniikka, jonka avulla laitteiden välille voidaan luoda yhteys langattomasti tuomalla kaksi NFC-tekniikkaa tukevaa laitetta lähelle toisiaan.

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia 360°-kameran hyödyntämismahdollisuuksia laitossuunnittelutyössä. Työssä tarkasteltiin 360°-kameran valokuvaus- ja videokuvausmahdollisuuksia sekä tutustuttiin valokuvien pohjalta tehtäviin 3D-malleihin. Työ tehtiin Sweco Industry Oy:lle.

Laitossuunnittelutyö jakaantuu kokonaan uuden laitoksen suunnitteluun, vanhan laitoksen päivittämiseen tai laajentamiseen sekä näiden yhdistelmiin. Mikäli suunnittelutyössä käytetään hyväksi olemassa olevia rakenteita, tai suunnitellaan uusia putkia tai laitteistoa vanhaan laitokseen, on suunnittelussa tutustuttava kohteen rakennettuun ympäristöön. Olemassa olevista laitteistoista ja rakenteista koostetaan suunnittelun lähtötiedot. Lähtötietojen määrittelyssä voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi rakenteiden, laitteistojen ja putkistojen piirustuksia. Uudemmista laitoksista on usein saatavilla myös 3D-malli, josta on helppo selvittää mittatietoja. Olemassa oleva 3D-malli voidaan usein myös siirtää suunnitteluohjelmistoon, jolloin uusi laitteisto on helpompi sijoittaa olemassa olevan laitoksen sisälle. Usein suunnittelussa kuitenkin huomataan, että olemassa olevat piirustukset tai 3D-mallit eivät ole ajan tasalla tai ne puuttuvat kokonaan. Laitoksiin on voitu tehdä muutostöitä, tai asennusvaiheessa on voitu tehdä muutoksia, jotka eivät ole päivittyneet alkuperäisiin suunnitteludokumentteihin tai -malleihin. Tämän takia suunnittelijoiden on varmistettava lähtötietojen paikkansapitävyys.

Suuremmat kohteet usein laserkeilataan, jolloin keilauksen suorittava yritys toimittaa mitatarkan pistepilven tai pintamallin kohteesta. Laserkeilauksen hinta on laskenut tekniikan kehittyessä, mutta pienempien kohteiden lähtötietojen selvittäminen mittojen ja tilantarpeen osalta kannattaa edelleen tehdä niin, että suunnittelijat ottavat mittoja ja valokuvia paikan päältä suunnittelukohteessa. Usein työmaakäynnin jälkeen suunnittelijat huomaavat toimistolla, että valokuvista on rajautunut pois jokin suunnittelun kannalta oleellinen kohta. 360°-kameran ottamalla kuvilla on mahdollista saada kattavampia valokuvia ja videokuva kohteesta. Nykyään on saatavilla myös tietokoneohjelmia, jotka muodostavat 3D-malleja valokuvista. Tässä työssä tarkastellaan myös näiden ohjelmien tarjoamia mahdollisuuksia laitossuunnittelutyössä.

2 Sweco

Sweco AB on Tukholman pörssiin listattu suunnittelun ja konsultoinnin asiantuntijayritys, jolla on yhteensä noin 17 000 työntekijää. Yhtiön liikevaihto on 1,8 miljardia euroa, ja sen toimitusjohtajana toimii Åsa Bergman. Sweco Finland on Suomessa ja Virossa toimiva maayhtiö, jolla on noin 2 500 työntekijää 27 paikkakunnalla Suomessa ja kahdella paikkakunnalla Virossa. Sweco Finlandin organisaatio myy palveluita arkkitehtuurin, asiantuntijapalveluiden, projektinjohdon ja rakennuttamisen, rakennetekniikan, talotekniikan, teollisuuden sekä ympäristö- ja yhdyskuntatekniikan aloilta. [1.]

Sweco Industry Oy on Sweco konserniin kuuluva teollisuuteen erikoistunut asiantuntijayritys, joka tuottaa asiakkailleen tuotannon kehittämiseen ja laitoshankkeisiin liittyviä konsultointi-, suunnittelu- ja projektinjohtopalveluita. Sweco Industry Oy perustettiin 1971 nimellä Projekti-insinöörit Oy. Vuonna 2003 yhtiö tuli osaksi Sweco konsernia. Nykyään Sweco Industry Oy:llä on 500 työntekijää. [1.]

3 360°-kamera

3.1 Panoraamakuva

Panoraamakuvalla tarkoitetaan laajan yleisnäkymän esittävää kuvaa. Panoraamakuvalle ei ole olemassa mitään virallista määritelmää, mutta yleisen käsityksen mukaan valokuvan kuvasuhteen ollessa laajempi kuin ihmissilmän tuottaman kuvan, kuvaa voidaan pitää laajakuvana. Ihmissilmän tuottama kuvasuhde on noin 2:1, mikä tarkoittaa, että kuvan leveys on kaksi kertaa sen korkeus [2]. Erään määritelmän mukaan videokuvasta puhutaan laajakuvana, mikäli se kuvasuhde on suurempi kuin 1,37:1. Viihdeteollisuudessa yleisessä käytössä oleva kuvasuhde 16:9 tarkoittaa, että 4K-laatusessa kuvassa vaakapikseleitä on 3 840 ja pystypikseleitä on 2 160 [3]. Kuvasuhde saadaan jakamalla vaakapikselit pystypikseleillä, jolloin kuvasuhteeksi saadaan 1,78. [4.]

$$\frac{3840}{2160} = \frac{16}{9} = 1,78$$

Panoraamakuva voi olla osittainen, lieriömäinen (cylindrical panoarama) tai pallomainen (spherical panorama) panoraamakuva. Osittaisella panoraamalla tarkoitetaan yleensä tavanomaista suorakulmaista kameran kuvaa leveämpää kuvaa. Lieriömäisellä panoraamalla tarkoitetaan usein täyttä 360 asteen valokuvaa, jossa on näkymä ympärille jokaiseen suuntaan mutta ei näkymää ylös- tai alaspäin. Pallomaisella panoraamalla tarkoitetaan kuvaa, jossa on näkymä jokaiseen suuntaan, myös ylös- ja alaspäin. [5.]

Panoraamakuvan tuottamiseen on monia tapoja. Perinteisillä valokuvakameroilla ja kännykkäkameroilla on mahdollista tuottaa panoraamavalokuvia ottamalla valokuvia useista eri suunnista ja yhdistelemällä niitä saumattomasti kuvankäsittelyohjelmien avulla yhteisiksi valokuviksi. Monissa kameroissa ja kännyköissä on nykyään panoraamavalokuvaustoiminto, jonka avulla on mahdollista luoda panoraamakuva pyörähtämällä kameran kanssa ympäri ottamalla samalla valokuvia ympäröivästä tilasta. Mikäli ympäröivästä tilasta tai maisemasta halutaan saada erittäin korkeatasoisia tai korkearesoluutioisia kuvia, panoraamakuva voidaan muodostaa esimerkiksi järjestelmäkameran kuvilla. Tähän tarkoitukseen on saatavilla kameran jalustaan kiinnitettäviä lisävarusteita, panoraama-aitia, joiden avulla kameraa voidaan pyörittää ideaalisesti parallaksivirheen välttämiseksi. Tällöin kameran kuvat voidaan yhdistää saumattomasti panoraamakuvaksi kuvankäsittelyohjelmien avulla. Panoraamakuvia voidaan tehdä esimerkiksi Adobe Photoshop- tai Hugin-kuvankäsittelyohjelmilla. [6; 7.]

Lieriömäinen panoraamakuva saadaan projisoimalla valokuvat vierekkäin kuvitteellisen lieriön sisäpinnalle. Näin valokuvien pystylinjat eivät vääristy. Pallomainen panoraamakuva on mahdollista tehdä tavallisista valokuvista kohdistamalla valokuvat kuvitteellisen pallon sisäpinnalle. Tästä juontaa nimitykset lieriömäinen ja pallomainen panoraama. Pallomaisen panoraaman voi tehdä esimerkiksi kuudella valokuvalla ottamalla yhden valokuvat suoraan ylös- ja alaspäin sekä kaikkiin neljään pääilmansuuntaan. Pallomaisen kuvan laatua voi parantaa ottamalla esimerkiksi kahdeksan valokuvaa; yhden ylöspäin, toisen alaspäin ja 6 kuvaa vaakatasossa kääntäen kameraa 60 astetta jokaisen valokuvan jälkeen. Valokuvia liitettäessä panoraamakuvan yhtenäisyys paranee liittämällä valokuvat osittain päällekkäin. [8; 9.]

3.2 360°-kamera

Markkinoilla on useita niin kutsuttuja 360°-kameroita, jotka ottavat pallomaisia panoraamakuvia tai videokuvaa ympäristöstä. Yksinkertaisimmillaan nämä kamerat ovat kahdella pallomaisella objektiivilla, niin sanotuilla kalansilmäobjektiveilla varustettuja kameroita, joissa on kaksi kamerakennoa vastakkaisilla puolilla. Kalansilmäobjektiveissa on lyhyt polttoväli ja kupera linssi, jonka avulla kamera kuvaa 180 astetta ympäristöstään. Näin kahdella kennolla on mahdollista kuvata koko ympäristö. Kalansilmäobjektiivi aiheuttaa kuitenkin voimakkaan vääristymän kuviin. Tämä tynnyrivääristymä on mahdollista poistaa kuvankäsittelyohjelmilla. 360°-kameroiden ottamiin kuviin on saatavilla useita katseluohjelmia, joiden avulla kuvia voidaan katsoa näytöiltä pyörittämällä kuvaa ilman tynnyrivääristymää. Kuva vääristyy voimakkaasti mikäli 360°-kuvan pakottaa yhteen tasoon. Markkinoilla on myös kehittyneempiä 360°-kameroita, jotka muodostavat pallomaisen panoraamakuvan käyttäen useampaa kuin kahta kamerakuvaa panoraaman muodostamiseksi. Tällä tavalla on mahdollista saada tarkempia kuvia. [10.]

3.3 Garmin Virb 360

Markkinoilla on nykyään monia 360°-kameroita mutta tähän insinööriyöhön valikoitui Garmin Virb 360-kamera (kuva 1), koska Sweco Industryn Plant & Analysis -osaston osastopäällikkö Mika Makkonen oli saanut suosituksia kyseisestä mallista. Garmin Virb 360 kamera on vesitiivis 360°-kamera, jonka videokuvan tarkkuus on enintään 5,7K ja valokuvien tarkkuus enintään 15 megapikseliä. Virb 360 -kamerassa on kaksi kalansilmäobjektiveita vastakkaisilla puolilla, jotka tallentavat ympäröivää maisemaa 200 asteen kulmalla. Kamerassa on ominaisuus, joka liittää kuvat osittain päällekkäin yhteen automaattisesti luodakseen lähes saumattoman 360 asteen näkymän joka suuntaan. Käytännössä kuvissa näkyy pienet vääristymät niissä kohdissa, joissa vastakkaisilta puolilta otetut kuvat yhdistyvät. Myös kuvia suoraan alaspäin katsottaessa kuvissa on nähtävissä pieni katvealue, joka johtuu osittain kameran jalustasta. Vääristymät ovat kuitenkin melko pieniä. [11; 12.]



Kuva 1. Garmin Virb -kamera

Kameralla on mahdollista kuvata raakavideota eli raw-videota 5K:n ja 5,7K:n tarkkuudella, jolloin kameran molemmat kennot tallentavat näkymää 200-asteen kulmalla. Nämä videokuvat voidaan yhdistää esimerkiksi Garminin omalla Virb Edit -ohjelmalla yhteiseksi 360°-kuvaksi niin, että videokuvat menevät osittain päällekkäin saumattomasti. Kameran sisäänrakennettu 4K-kuvaustoiminto yhdistää videokuvat automaattisesti lähes saumattomasti yhteiseksi 360°-kuvaksi. Automaattinen kuvien yhdistäminen toimii kamerassa sen verran hyvin, ettei laitossuunnittelun näkökulmasta ole tarvetta yhdistellä kuvia manuaalisesti, ellei videokuvasta haluta saada korkeampiresoluutioista (taulukko 1). [11;12.]

Taulukko 1. Kameran videokuvausresoluutiot. [13.]

Linssitila	Videotyyppi	Resoluutio	Kuvataajuus
360	360° liitetty	4K (3 840 x 2 160)	30 fps
Etukamera Takakamera	16:9	FHD (1 920 x 1 080)	60 fps 120 fps
RAW	360° liittämätön	5K (2 tiedostoa 2 496 x 2 496) 5,7K (2 tiedostoa 2 880 x 2 880) 3,5K (2 tiedostoa 1 760 x 1 760)	30 fps

Kameran molemmat kennot kykenevät tallentamaan resoluutioiltaan 2 880 x 2 880 videokuvaa mikä tarkoittaa, että RAW-tilassa kamera tallentaa maksimissaan molempien kennojen kuvaamat 2 880 x 2 880 = 8 294 400 pikseliä, eli 8,3 megapikseliä. Yhdistämällä nämä kahden kennon tallentamat tiedostot saadaan 16,6 megapikselin kuva. Kamera tallentaa ympäristöään 200 asteen kulmalla sekä horisontaalisesti että vertikaalisesti, joten 360 asteen näkymän muodostamiseksi kuvat asetellaan hieman päällekkäin mahdollisimman saumattoman kuvan saamiseksi. Osittaisen päällekkäisyyden takia kuvan resoluutio alenee hieman. Videokuvissa resoluutiota ei yleensä ilmoiteta megapikselinä vaan niistä käytetään lyhenteitä, kuten FHD tai 4K. 4K-resoluutio viittaa videokuvan horisontaalisten pikseleiden määrään, joka on noin 4 000, tämän kameral kohdalla 3 840. FHD:llä tarkoitetaan teräväpiirtokuvaa, jonka resoluutio on 1 920 x 1 080. FHD:sta käytetään myös lyhenteitä 2K ja 1080p. 2K viittaa kuvan horisontaalisten pikseleiden määrään ja 1080p viittaa vertikaalisten pikseleiden määrään.

Garmin Virb 360 -kamera ei videokuvauksessa kykene liittämään automaattisesti kuin kaksi FHD-tasoista videokuvaa yhdeksi 4K-tasoiseksi 360 asteen videokuvaksi. RAW-tilassa on mahdollista tallentaa videokuvaa 4K:ta korkeammalla resoluutiolla mutta silloin videoiden yhdistäminen saumattomaksi 360 asteen videoksi on tehtävä manuaalisesti. Kameralla on myös mahdollista kuvata pelkästään etu- tai takakameralla Full HD -tasosta videokuvaa kuvasuhteella 16:9. Tällöin kameral asetuksista on mahdollista valita linssikorjausasetus, mikä korjaa kameral objektiivin tuottaman tynnyrivääristymän. [14.]

360 asteen valokuvissa kuvien suurin mahdollinen resoluutio liitettynä on 15 megapikseliä (5 640 x 2 816). Valokuvia on mahdollista ottaa myös liittämättömänä, jolloin kamera kuvaa kaksi 9 megapikselin valokuvaa, joiden resoluutiot ovat 3008 x 3000.

Lopullisessa 360 asteen valokuvassa pikseleiden määrä vähenee hieman kuvien osittaisen päällekkäisyyden takia. [13; 14.]

Garmin Virb 360 -kamerassa on sisäänrakennettuja antureita, jotka tallentavat tietoa kuvausolosuhteista. Garmin kutsuu niitä G-Matrix-päällekkäistiedoiksi. Anturit tallentavat paikkatietoja GPS- ja GLONASS-järjestelmillä. Sen lisäksi siinä on ilmanpaineanturi, kiihtyvyyssanturi, gyroskooppi ja kompassi. G-Matrix tiedot siirtyvät valokuvien ja videoiden mukana tietokoneelle. Garmin Virb Edit -ohjelmassa anturien keräämiä tietoja on mahdollista tarkastella kuvien ja videoiden yhteydessä. Kuvissa näkyy ilmansuunnat, kameran liikenopeus ja kuvauspaikan korkeus meren pinnasta. Kameraa testattaessa nämä tiedot eivät osoittautuneet paikkansa pitäviksi sisätiloissa ja maan alla kuvattaessa. [12.]

3.3.1 VIRB MOBILE

Garmin Virb 360 -kameraa on helpointa käyttää Garminin omien mobiilisovellusten avulla. VIRB MOBILE -sovellus on saatavilla Android-laitteisiin Google Play kaupasta ja Applen iOS-laitteisiin App Storesta. Mobiilisovellukset ovat ladattavissa ilmaiseksi. Tässä insinööriyössä perehdytään vain kyseisen sovelluksen Android-versioon. Kamera on aluksi yhdistettävä älypuhelimeen, mikäli kameraa käytetään puhelimen avulla. Yhteys luodaan langattomasti wifi-tekniikalla. Kamerasta tehdään wifi-tukiasema kytkemällä wifi-toiminto käyttöön kameran valikoista. Yhdistettäessä kamera mobiilisovellukseen ensimmäisen kerran, on wifi-tukiasemana toimivan kameran salasana kirjoitettava puhelimeen. Kameran luoman verkon nimi ja salasana näkyvät kameran näytössä. Garmin Virb 360 -kamera tukee myös NFC-tekniikkaa. Tämän avulla kameran yhdistäminen NFC-tekniikkaa tukevan Android-puhelimen kanssa tapahtuu helposti koskettamalla puhelimesta kameraa wifi- ja NFC-toimintojen ollessa päälle kytkettynä puhelimesta. Välillä yhteyden luominen onnistui saman tien koskettamalla kerran puhelimesta kameraa, mutta välillä yhteyden luominen kesti kauemmin ja tarvitsi monta yritystä. [15.]

Kun kameran ja puhelimen välille on luotu yhteys, kameraa on mahdollista käyttää etänä puhelimen avulla. Tällöin puhelimen näytölle piirtyy kuva kameran kuvaamasta ympäristöstä ja kameraa on helpompi käyttää, koska kamerassa itsessään ei ole kuin pieni yksirivinen mustavalkonäyttö kameran päällä. Kameran puhelimeen lähettämässä kuvassa on noin sekunnin viive. Mobiilisovelluksen avulla kameran kuvatila ja asetuksia on

helppo muuttaa. Kameralla otettuja kuvia ja videoita on mahdollista tarkastella ja poistaa suoraan puhelimen näytöltä.

3.3.2 Virb Edit

Kameran ottamia 360 asteen kuvia ja videoita voi helposti katsoa ja muokata tietokoneella Garminin omalla Virb Edit -ohjelmalla. Ohjelma on ilmainen ja se on saatavilla Garminin nettisivuilta PC- ja Mac-tietokoneille. Tässä insinööriyössä on tutustuttu vain Windows-koneen Virb Edit -ohjelmaan. Kameran kuvien tuominen kamerasta tietokoneelle onnistuu helposti USB-kaapelin avulla. Kuvien siirryttyä tietokoneelle on kuvia helppo tarkastella ohjelman avulla. Ohjelma upottaa kameran antureiden keräämiä tietoja valokuviiin.

3.3.3 Kameran lisäosat

Kamerassa on vaihdettava akku ja muistikortti. Garmin ilmoittaa kameran akun kestävän yli tunnin videokuvausta, joten kameraan on syytä hankkia vaihtoakkuja. Mikäli kameralla ottaa vain valokuvia niin kameran akku kestää useamman tunnin. Kamera tukee maksimissaan 128 GB:n Micro SD -muistikorttia, joka täyttyy nopeasti paljon videokuvaa kuvattaessa. Tällöin kameraan on kannattavaa hankkia useampi muistikortti. Akun ja muistikortin vaihtaminen tapahtuu helposti kameran pohjasta. Kamera mukana tulee USB 2.0 -kaapeli, jonka avulla kameran akkua ladataan ja kuvia siirretään tietokoneelle. Akkujen lataamista varten on saatavilla myös erillisiä akkulatureita. Mukana tulee myös pieni kolmijalka. Kameraan on saatavilla korkeampiakin jalkoja. Tässä insinööriyössä oli käytössä 3 metriä pitkä, niin sanottu selfiekeppi. Selfiekeppi oli teleskooppimallinen, joka oli mahdollista ruuvata kiinni kameran mukana tulleeseen pieneen kolmijalkaan. Selfiekepin venyttäminen yli kahteen metriin teki kuitenkin kameran jalustan hyvin epävaakaaksi kolmijalan pienen koon takia, jolloin kamera kaatui useamman kerran kokeilun aikana. Kameran linssit on suojattu vaihdettavilla lasisilla suojalinsseillä. [16.]

4 Laitossuunnittelu

Laitossuunnittelu tarkoittaa kaikkea suunnittelua, mitä toimivan laitoksen aikaansaaminen edellyttää. Swecolla laitossuunnitteluun kuuluvat layout-, putkisto-, laite- ja

rakennesuunnittelu. Prosessilaitosten suunnitteluvaiheet voidaan jakaa kolmeen erilliseen vaiheeseen: esisuunnitteluun, perussuunnitteluun ja toteutussuunnitteluun. Laitosuunnittelu tapahtuu nykyään pääasiassa 3D-suunnitteluohjelmilla, mutta osa suunnittelusta tehdään edelleen 2D-ympäristössä. [17, s. 4; 18, s. 3; 19; 21.]

Prosessi- ja sähkösuunnittelu ovat oleellisia suunnitteluosioita laitosinvestointiprojekteissa, jotka tuottavat suunnittelun lähtötietoja laitossuunnitteluun. Prosessisuunnittelussa tehdään mm. aine- ja energiasuunnittelua, laitevalintoja, mitoituksia sekä laaditaan linja-, laite- ja venttiililuetteloita, prosessikuvauksia sekä virtaus- ja PI-kaavioita. Sähkösuunnittelussa suunnitellaan prosessisähköistys sekä sähkönjakelu laitosalueelle tai laitokseen. Usein esimerkiksi laitosten prosessiputket vaativat lämmitystä, joka voidaan toteuttaa joko höyry- tai sähkösaatoilla. Sähkösaattosuunnittelu tai sen määrittely hankintaa varten tehdään sähkösuunnittelussa. [17, s. 30–34; 18, s. 3, 64–67; 19; 21.]

Layout-suunnittelussa tehdään laitesijaintisuunnittelua, jossa prosessilaitteistolle pyritään löytämään optimaaliset paikat. Layout-suunnittelu tuottaa myös kuormatietoja rakennesuunnitteluun. Alue-layoutissa määritellään muun muassa aluekorot, rakennusten ja putkisiltojen sijainnit, kulku- ja hoitotasot sekä varoetäisyydet. Laitos-layoutissa määritellään tarkemmin järjestelmien sijainteja laitoksen sisällä. Layout-suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon myös putkistojen ja kaapelihyllyjen sijoitukset. [18, s. 2; 19; 21.]

Putkiston tehtävänä on yhdistää laitosten säiliöitä, pumppuja sekä prosessilaitteistoa. Putkistosuunnittelun tehtävänä on suunnitella putkisto niin, että prosessiaineet siirtyvät säiliöiden ja prosessiyksiköiden välillä mahdollisimman häiriöttömästi. Putkistosuunnittelussa suunnitellaan mm. putkistojen reititystä, laaditaan putkiluokkia ja putkiosaluetteloita sekä tehdään asennusdokumentteja, kuten kannakepiirustuksia ja putkistosometreja. Putkistosuunnittelussa tehdään myös putkiston jännitys- ja joustavuusanalyysyjä. Prosessilaitosten investointiprojekteissa putkiston osuus kustannuksista voi olla jopa 20 %. Putkiston asennustyöt vaativat paljon työaikaa, joten hyvällä suunnittelulla on suuri vaikutus aikatauluihin ja kustannuksiin. [17, s. 3; 18, s. 3, 5; 19; 21.]

Laitesuunnittelussa määritellään prosessilaitteet hankintaa varten prosessisuunnittelun antamien lähtötietojen perusteella. Prosessilaitteet voivat olla laitetoimittajilta tilattavia valmiita tuotteita, tai ne voidaan suunnitella laitesuunnittelussa. Laitesuunnittelussa

suunnitellaan esimerkiksi säiliöitä, suppiloita sekä putkilämmönvaihtimia. Laitesuunnittelu tuottaa myös prosessilaitteiden mittatietoja putkistosuunnitteluun. [17, s. 34; 19; 21.]

Rakennesuunnittelussa suunnitellaan tarvittavat rakennukset, teräsrakenteet ja perustukset. Rakennesuunnittelu jakaantuu teräs- ja betonirakennesuunnitteluun. Teräsrakennesuunnittelussa suunnitellaan esimerkiksi hoitotasot, kannakkeet ja putkisillat. Betonirakennesuunnittelussa suunnitellaan laitosten ja niiden osien, kuten putkisiltojen ja suurten säiliöiden perustukset. Putkistosuunnittelu antaa lähtötietoja teräsrakennesuunnitteluun. Teräsrakennesuunnittelu taas toimittaa kuormatietoja perustussuunnitteluun. [17, s. 40; 19; 21.]

Esisuunnittelu on hankkeen alustavaa suunnittelua, johon voi kuulua esimerkiksi lohko- ja virtauskaavioiden laadintaa sekä alustavaa layout-suunnittelua. Esisuunnittelun tarkoituksena on laatia alustava kustannusarvio. Esisuunnitteluvaiheessa tehdään usein myös turvallisuus-, terveys- ja ympäristöarviointi. Esisuunnittelun jälkeen hanke etenee perussuunnitteluun, mikäli hanke todetaan toteutuskelpoiseksi. Perussuunnitteluvaiheessa luodaan pohja toteutussuunnittelulle. Perussuunnittelu alkaa investointipäätöksestä ja silloin tehdään tarkempi projektisuunnitelma. Perussuunnittelussa tarkennetaan teknologiaan, turvallisuuteen, ympäristöön, kustannuksiin ja aikatauluun liittyviä asioita. Perussuunnittelua seuraa toteutussuunnittelu, jota kutsutaan myös detaljisuunnitteluksi. Toteutussuunnittelun aikana pyritään varmistamaan kaikki alustavat tiedot ja tehdään lopulliset suunnitelmat ja piirustukset, joiden avulla laitos voidaan rakentaa. Käytännössä suunnitteluvaihe jatkuu koko laitoksen rakentamisen ajan, koska rakennusvaiheessa ilmaantuvien ongelmien tai virheiden takia suunnitelmia joudutaan usein muuttamaan. Tämän takia suunnitteluvaihe päättyy As Built -dokumentointiin, jolloin tietokonemallit ja muut dokumentit päivitetään vastaamaan todellista asennustilannetta. [17, s. 24–28; 18, s. 2, 6; 19.]

Eri teollisuusaloilla voi olla erilaisia vaatimuksia ja toteutusmalleja. Esimerkiksi kemianteollisuudessa prosessiaineet saattavat olla vaarallisia tai voimalaitoksilla lämpötilat ja paineet saattavat olla hyvin korkeita. Prosessien käyntijaksot voivat olla lyhyitä panosprosesseja tai vuosia kestäviä kaivosteollisuuden prosesseja. Lääketeollisuus saattaa asettaa hyvin korkeat vaatimukset puhtaudelle. [19.]

Lait, direktiivit, ja standardit ohjaavat suunnittelua. Laitossuunnittelussa on huomioitava, että ulkomaille tehtävissä projekteissa kohdemaan lainsäädäntö voi olla hyvinkin erilainen suunnittelumaahan verrattuna. Tämän takia on tärkeää selvittää kohdemaan lait ja asetukset sekä muut viranomais määräykset jo projektin alkuvaiheessa. Euroopassa painelaitteiden turvallisuusvaatimukset ovat säädetty painelaitedirektiivissä (PED). Standardeja on paljon erilaisia. Euroopassa käytetään paljon EN-standardeja, jolla tarkoitetaan eurooppalaisen standardoimisjärjestön CENin vahvistamia standardeja. Myös kansainvälinen ISO ja saksalainen DIN ovat yleisiä Euroopassa. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry on jäsenenä ISO:ssa ja CENissä. Valtaosa SFS:n standardeista on vahvistettu CEN:in tai ISO:n toimielimissä. Toinen Suomen teollisuudessa yleisessä käytössä oleva standardikokoelma on PSK Standardisointiyhdistys ry:n PSK-standardit. Monilla isoilla teollisuuden yrityksillä on käytössä myös omia standardeja. [17, s. 12–19 ; 20.]

Laitossuunnitteluprojektia kutsutaan greenfield-projektiksi silloin, kun suunnitellaan kokonaan uutta laitosta tai laitousyksikköä. Brownfield-projektiksi taas kutsutaan projektia, jossa vanhaa laitosta päivitetään rakentamalla uutta putkistoa tai laitteistoa tai rakennetaan kokonaan uusi yksikkö vanhan laitoksen sekaan tai paikalle. Varsinkin brownfield-projekteissa on tärkeää selvittää olemassa olevien rakenteiden ja laitteistojen tiedot ja sijainnit. Myös greenfield-projektissa on usein selvitettävä liitännöiden tietoja. Näiden lähtötietojen määrittämisessä voidaan käyttää laitoksen ja sen sisältämän laitteiston dokumentteja, kuten mittapiirustuksia. Uudemmissa laitoksista on usein saatavilla myös 3D-malli. Ongelmana on usein se, että piirustukset tai mallit eivät pidä paikkansa, tai niitä ei ole käytettävissä ollenkaan. Laitoksella on voitu tehdä muutoksia rakenteisiin, laitteistoon tai putkistoon, jotka eivät ole päivittyneet piirustuksiin tai malleihin. Tämän takia laitossuunnittelijat joutuvat varmistamaan olemassa olevien tietojen paikkansapitävyys tai keräämään tiedot kokonaan paikan päällä. Pienemmissä suunnittelukohteissa usein riittää, että suunnittelija menee paikan päälle ottamaan valokuvia ja mittoja joko perinteisillä rullamitoilla tai lasermittareilla. Isommat kohteet usein laserkeilataan. [21.]

4.1 Laserkeilaus

Laserkeilauksessa saadaan kohteesta mittatarkkaa kolmiulotteista tietoa lasersäteiden avulla. Laserkeilaimen mittakeilain lähettää lasersäteitä kohteeseen. Lasersäteiden osuttuaan kohteeseen, säteet heijastuvat takaisin mittakeilaimen. Keilain mittaa

kohteen etäisyyden keilaimen säteen kulkeman matka-ajan perusteella. Lasersäteen kulkema matka on mahdollista laskea jakamalla nopeuden ja matkaan kuluneen ajan tulo kahdella (yhtälö 1).

$$s = \frac{v \cdot \Delta t}{2} \quad (1)$$

Laserkeilaimien etäisyysmittaus tapahtuu joko mittaamalla suoraan laserpulssin lähtö- ja paluuajan erotus, tai epäsuoraan mittaamalla lähtevän ja palaavan laservalon vaihe-ero. Sähkömagneettisen aallon heijastuessa kohteen pinnasta aallossa tapahtuu vaihesiirto. Mitattava kohde keilataan useammasta kohdasta, jotta koko tila saadaan keilatuksi ilman katvealueita. Laserkeilaus tuottaa kohteesta pistepilven, jossa jokainen piste on lasersäteen ja mitattavan kohteen törmäyspiste. Kun useasta kohdasta saadut pistepilvet sijoitetaan tunnettuun koordinaatistoon, saadaan tilasta kattavat mittatiedot. Pistepilvistä on mahdollista tehdä pintamalli, joka laitossuunnittelun näkökulmasta on mittatarkka. Usein laserkeilaimissa on mukana myös sisäänrakennettu 360°-kamera. [22.]

Laserkeilausta käytetään paljon laitossuunnittelussa. Tekniikkana se on ylivertainen tapa mitata suurempi alue. Tekniikan kehittyessä keilauksen hinta on laskenut huomattavasti. Markkinoilla on saatavilla erikokoisia laserkeilaimia käyttötarkoituksen mukaan. On olemassa esimerkiksi autossa kuljetettavia isoja keilaimia, siirrettäviä omilla jaloilla seisovia keilaimia ja pieniä käsikäyttöisiä keilaimia. Esimerkiksi GeoSLAM ZEB-REVO RT -käsikäyttöinen keilain tuottaa pistepilven, jonka mittatarkkuus on noin 20–30 mm. Isommissa keilaimissa mittatarkkuus paranee huomattavasti. [22; 23.]

Laserkeilauksen suorittava yhtiö tuottaa kohteesta pistepilven tai pintamallin. Laitossuunnittelun kannalta pistepilvi on usein riittävä. Pintamallin teettäminen maksaa enemmän, joten sitä ei kannata teettää, ellei sitä oikeasti tarvita. Laserkeilauksesta saatua pistepilveä tai pintamallia on mahdollista tarkastella erillisellä katseluohjelmalla tai se voidaan tuoda suoraan suunnitteluohjelmaan. Näin laitossuunnittelu voidaan mitoittaa suoraan olemassa olevan tilan sisälle tai ympärille. Suunnittelijat voivat myös itse mallintaa pistepilven pohjalta esimerkiksi laitteistoa, putkistoa tai seiniä suunnittelumalliin. [21.]

Laserkeilaus ei aina tuota täysin oikeanlaista tulosta mitattavasta kohteesta. Lumisade, alhaiset lämpötilat tai kiiltävät pinnat häiritsevät laserkeilausta. Esimerkiksi lasipinnat

eivät välttämättä näy oikein lopullisessa mallissa. Myös kiiltäväpintaiset metalliputket saattavat jäädä laserkeilaimelta huomaamatta. Kiiltäväpintainen putki saattaa peilata koko lasersäteen keilaimen sensorin ohi, jolloin keilain ei saa tietoa putken ja säteen kohtaamispaikasta. [23; 24.]

4.2 Muut mittaustavat

Nykyään markkinoilla on kameroita, jotka sisältävät kameran kennon lisäksi jonkin etäisyyden mittaamiseen käytettävän sensorin. On olemassa esimerkiksi infrapunatekniikkaa käyttäviä 3D-kameroita. Matterportin valmistama Pro2 3D -kamera on varustettu infrapunasensorilla, jonka avulla kamera muodostaa ympäristöstään 3D-mallin. Kamera asetetaan kolmijalan päälle, jossa kamera pyörähtää ympäri ottaen samalla valokuvan. Infrapunasensori mittaa kameran etäisyyttä ympäristöön. Infrapunasensorin kantama ja tarkkuus on kuitenkin heikompi kuin laserilla. Kameran valmistaja ilmoittaa kameran kantaman olevan 4,5 metriä tarkkuuden ollessa 99 %. Kameraa on mahdollista käyttää etänä tablet-tietokoneella. [25; 26.]

Matterportin 3D -kameran tallentama data käsitellään yhtiön pilvipalvelussa, jonne kameran ottamat kuvat ja infrapunasensorin data ladataan. Kuvien luovuttaminen kolmannelle osapuolelle luo aina tietoturvariskin, mikäli kuvauskohteessa on salassa pidettäviä tietoja. Matterport käyttää Amazon Web Services -pilvipalvelua, joka ilmoittaa panostavansa tietoturvaluotteluun [27; 28.]

4.3 360°-kameran hyödyntäminen laitossuunnittelussa

360 asteen kameralla otetut valokuvat antavat erittäin kattavan kuvan kohteen ympäristöstä. Pallomaisen panoraaman katseleminen vaatii kuitenkin siihen tarkoitettun katseluohjelman. Monet valokuvien katselemiseen tarkoitettujen ohjelmien pakottavat panoraamavalokuvat tasomaiseen muotoon, jolloin valokuvien perspektiivit vääristyvät kameran aiheuttaman tynnyrivääristymän takia. Panoraamavalokuvien katselemiseen tarkoitettuihin ohjelmiin voi valokuvan näkymää kääntää tietokoneen ruudulla ilman vääristymiä. Garminin oma VIRB Edit -ohjelma sopii hyvin tähän tarkoitukseen. Saatavilla on myös muita katseluohjelmia. Esimerkiksi Google Chrome -nettiselaimen on saatavilla

ilmainen Panorama Viewer -lisäosa, jonka avulla panoraamakuvia voi katsella tietokoneen näytöltä.

Huonossa valossa Garmin Virb 360 -kameralla otetut valokuvat voivat olla hieman hämäriä ja epäselviä. Markkinoilla on saatavilla useita kuvankäsittelyohjelmia, joilla valokuvia voi editoida jälkeempään. Usein kirkkautta tai kontrastia säätämällä valokuvissa näkyvien yksityiskohtien erottuvuus paranee. Tässä insinööriyössä on käytetty Adoben Photoshop-ohjelmaa kuvien käsittelyssä. Photoshop-ohjelmalla panoraamavalokuvista voi myös rajata perinteisiä suorakulmaisia kuvia ilman tynnyrivääristymiä ja tallentaa nämä kuvat erikseen. Tällöin kuvien resoluutio jää melko huonoksi. Mikäli kohteesta halutaan saada suorakulmaisia valokuvia, ne kannattaa ennemmin ottaa kamerakännykällä.

360-kameralla otettuja valokuvia hyödynnetään nykyään paljon esimerkiksi kiinteistöalalla. Nykyään on saatavilla monia ohjelmia, joiden avulla pallomaisista panoraamakuista voi tehdä virtuaalikerroksia kuvatuista kohteista. Virtuaalikerroksen avulla tilan hahmottaminen helpottuu. Mikäli kohteesta on vain paljon panoraamavalokuvia esimerkiksi verkkolevyllä, kameran sijaintia kuvan ottohetkellä voi olla hankala hahmottaa. Virtuaalikerroksen avulla valokuvanäkymien välillä on mahdollista liikkua niin, että kuvien keskinäinen sijainti on helposti hahmotettavissa kuvaustilassa. Virtuaalikerrosten tekeminen tapahtuu usein netissä palveluntarjoajan pilvipalvelussa, minkä takia valokuvat pitää ladata kolmannen osapuolen servereille. Tämä voi aiheuttaa tietoturvariskin, mikäli kuvattava kohde sisältää salassa pidettäviä tietoja, tai mikäli asiakas ei halua kuvien leviävän ulkopuolisille.

Googlen omistama Marzipano on ilmainen 360 asteen valokuvien katseluohjelma, jonka Marzipano Tool -sovelluksella valokuvat voidaan linkittää toisiinsa niin sanottujen hotspotien avulla. Näin valokuvista voidaan luoda virtuaalikerros, jossa jokaisessa valokuvassa näkyy yksi tai useampi kuvake, jota painamalla käyttäjä siirtyy seuraavaan valokuvaan. Käyttäjä asettaa kuvakkeet oikeille paikoille ja valitsee niistä avautuvat valokuvat (kuva 2). Marzipano Tool -ohjelmassa kuvat prosessoidaan internet-selaimessa mutta kuvia ei lähetetä ulkopuoliselle serverille. Valmiin virtuaalikerroksen voi viedä pakattuna oman tietokoneen kovalevylle. Purettuna virtuaalikerrosta on mahdollista tarkastella paikallisesti internet-selaimella ilman nettiyhteyttä. Vaikka Marzipano on Googlen omistama sovellus, valmis virtuaalikerros ei toiminut raportin tekohetkellä

Googlen omalla Chrome-nettiselaimella. Sen sijaan Microsoftin Internet Explorer ja Edge -selaimilla virtuaalikierron toimi moitteettomasti. [29.]



Kuva 2. Marzipano-ohjelmassa valokuviiin upotetaan nuolia, joita painamalla näkymä siirtyy toiseen valokuvaan. Käyttäjä upottaa nuolet valokuviiin muodostaen tilasta virtuaalikierron.

Videokuvan ottaminen 360°-kameralla helpottaa tilan hahmottamista. Garmin Virb 360 -kameralla on mahdollista ottaa videokuvaa. Kohteesta saa kattavan kuvan, mikäli kulkee kohteen ympäri kameran nauhoittaessa videokuvaa tilasta panoraamana. Esimerkiksi rakennustyömailla säännöllisten työmaakierrosten mukaan otetaan usein 360°-kamera, joka tallentaa kierrokset. Näin rakennustyömaan valmistuminen dokumentoituu koko rakennusajalta. Mikäli esimerkiksi rakennusten rakenteista paljastuu myöhemmässä vaiheessa ongelmia, työmaakierrosten videotallenteista voidaan tarkistaa rakenteiden tilanne rakennusvaiheessa jälkeenpäin. [30.]

5 3D-mallin tekeminen valokuvista

Nykyään on saatavilla kymmeniä erilaisia ohjelmia, joilla on mahdollista luoda 3D-malleja valokuvien pohjalta. Tässä insinööriyössä on testattu kuuden erilaisen fotogrammetriatyökalun soveltuvuutta 3D-mallien tekemiseen pallomaisista panoraamavalokuvista. [31.]

5.1 Fotogrammetria

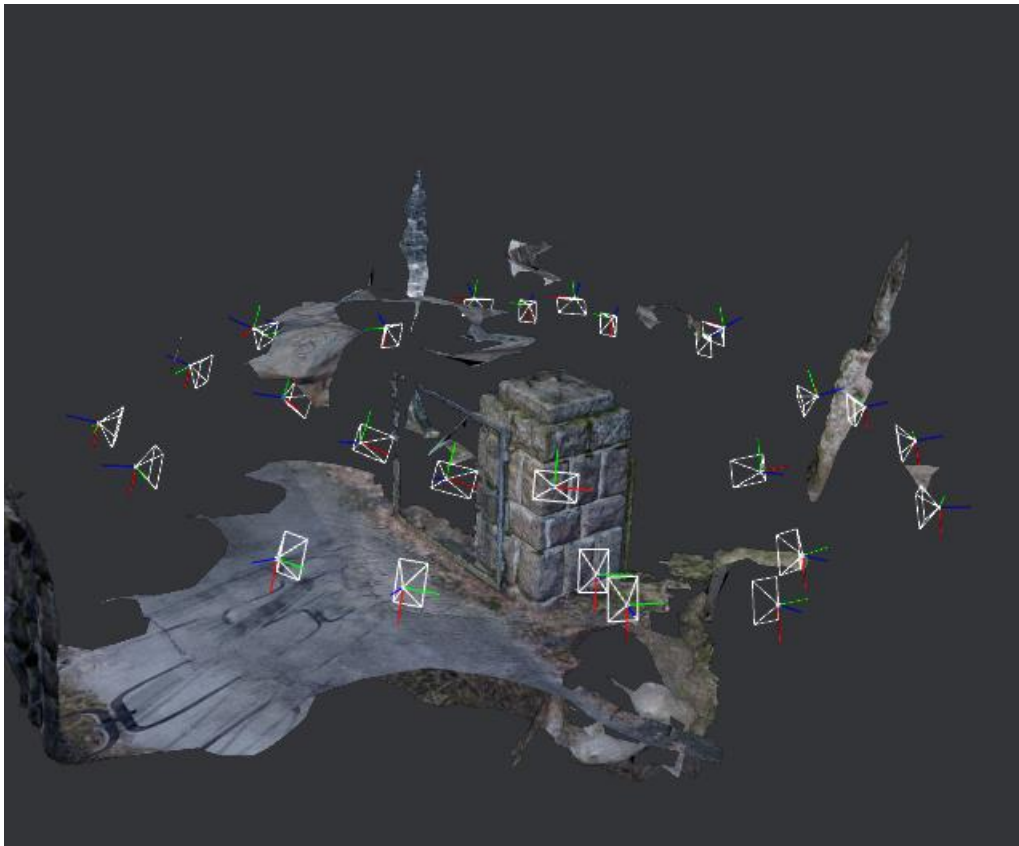
Fotogrammetria on maanmittausopin osa-alue, jossa kohteesta otettujen valokuvien avulla mitataan kohdetta kolmiulotteisesti. Fotogrammetrian tyypillisiä sovelluskohteita on perinteisesti ollut karttojen tekeminen ilmakuvien avulla. Karttojen tekeminen edellyttää riittävää määrää ilmakuvia, jotta jokainen kohta maastossa on löydettävissä vähintään kahdelta eri kuvalta. Kohteen sijainti kuvista voidaan määrittää kolmiulotteisesti, kun tunnetaan kuvien suhteet toisiinsa ja maastoon. Kolmiulotteisuutta voidaan hyödyntää topografisten maastokarttojen, pistepilvien ja 3D-mallien tekemiseen. Tässä insinööri­työssä keskitytään 3D-malleja tekeviin fotogrammetriaohjelmiin. [32, s.16–17; 33.]

Valokuva on kaksiulotteinen projektio kolmiulotteisesta näkymästä, jolloin valokuvasta häviää syvyystiedot. Fotogrammetrian tavoitteena on palauttaa kolmiulotteinen näkymä kaksiulotteisista valokuvista. Fotogrammetriaohjelmistojen syötteinä toimivat digitaaliset valokuvat, ja joissain tilanteissa myös videokuvat, ja tuotoksina syntyy pistepilviä ja 3D-malleja. Ohjelmistot etsivät valokuvista yhteisiä pisteitä, joiden mukaan kameran valokuvan ottohetken sijainti sijoitetaan kolmiulotteiseen koordinaatistoon. Tämän toiminnon toistaminen tuottaa pistepilven. Pistepilven pohjalta kohteesta luodaan pintamalli. [32, s. 16–17; 34.]

Nykyään on olemassa lukuisia ohjelmistoja, joiden avulla valokuvista on mahdollista tehdä 3D-malleja. Osa ohjelmistoista ovat ilmaisia ja osa maksullisia. Fotogrammetria vaatii tietokoneelta paljon laskentatehoa. Laskentatehon tarve kasvaa digitaalisten valokuvien laadun ja lukumäärän kasvaessa. Monissa ohjelmistoissa on myös mahdollista vaikuttaa syntyvien mallien tarkkuuteen. Valokuvien pohjalta luodaan ensin pistepilvi, jonka pohjalta 3D-malli rakentuu. Valmiin 3D-mallin pinta muodostuu polygoneista, eli käytännössä pienistä kolmioista. Mikäli ohjelmistossa vähennetään syntyvien pisteiden ja kolmioiden määrää, tietokoneen laskenta-aikaa saadaan lyhenemään. Tämä tekee syntyvästä mallista epätarkemman. Valokuvien koko ja lukumäärä lisää datan kokonaisu­määrää, mikä lisää laskennan tarvetta. Mallin prosessoinnin aikana kuvat ladataan tietokoneen keskusmuistiin ja niistä muodostetaan rinnakkaisia prosesseja. Tämä kuormittaa keskusmuistia ja grafiikkasuorittimen muistia. Suurin osa pistepilvestä, 3D-mallista ja tekstuurista pitäisi mahtua tietokoneen keskus- ja grafiikkamuistiin, mikä luo rajoitteita käytettävään laitteistoon. Joidenkin fotogrammetriaohjelmistojen laskentatyö tapahtuu pilvessä, jolloin laskentatyö siirtyy ulkopuoliselle serverikoneelle. Pilvessä tapahtuvassa

mallintamisessa käyttäjän tietokoneella valitaan valokuvat ja mahdolliset paikkatiedot, joita halutaan käyttää mallintamisen pohjana. Tämän jälkeen kuvat lähetetään palveluntarjoajan pilveen. Kun 3D-malli on luotu, se lähetetään käyttäjälle. Tämän jälkeen käyttäjän on mahdollista muokata mallia omalla tietokoneella. Valokuvien lähettäminen kolmannen osapuolen servereille voi muodostaa tietoturvariskin, mikäli valokuvat sisältävät salassa pidettäviä tietoja. Markkinoilla on myös yrityksiä, joilta voi tilata valokuvauksen ja niiden pohjalta tehdyn 3D-mallin. [32, s. 20 – 21.]

Fotogrammetriassa valokuvien pitää olla osittain päällekkäisiä, jotta kolmiulotteisen mallin luominen on mahdollista. Mitä enemmän valokuvat ovat päällekkäin, sitä paremman 3D-mallin niistä saa tehtyä. Fotogrammetriaohjelmistoissa on eroja sekä käytettävyyksissä että lopputuoksissa. Osa ohjelmistoista kykenee yhdistelemään valokuvien pisteitä paremmin ja sitä kautta luomaan tarkempia malleja. Mielenkiintoista oli, että esimerkiksi Alice Visionin Meshroom -ohjelma teki hieman erilaisen mallin, kun malli luotiin kahden kertaan samoista valokuvista. Fotogrammetriassa on tärkeää, että kohteesta on riittävästi kuvia eripuolilta kohdetta riittävän lähekkäin otettuna. Valokuvat pitäisi myös ottaa riittävän etäältä kohteesta, jotta ohjelmistot kykenevät sijoittamaan kameran oikeaan paikkaan koordinaatistossa (kuva 3). Ohjelmistot hylkäävät kaikki ne kuvat, mitä ne eivät osaa yhdistää toisiinsa. Joissain ohjelmistoissa käyttäjä voi asettaa minimimäärän valokuvia, joissa näkyvän pisteen ohjelmiston on yhdistettävä valokuviin, jotta kyseistä pistettä käytettäisi mallin luomiseen. Esimerkiksi käyttäjä voi määritellä, että sama piste on löydettävä vähintään kolmesta valokuvasta, jotta piste huomioitaisiin mallin muodostamisessa. Näitä pisteitä kutsutaan tie point -pisteiksi. Kokeilemalla selvisi, että mallin tekeminen onnistuu parhaiten ottamalla valokuvia mahdollisimman säännöllisin välimatkoin kohteen ympäri. Valokuvien räpsiminen sattumanvaraisesti ei tuo kovinkaan hyvää lopputulosta. Mallin luominen havaitsijan ympäröivästä tilasta on huomattavasti haastavampaa kuin mallin luominen tietystä rajatusta objektista tai alueesta, jonka voi valokuvata ulkopuolelta.



Kuva 3. Kuvakaappaus Meshroom-ohjelmasta. Ohjelma tunnistaa kameran sijainnit aidan ympärillä ja muodostaa mallin valokuvien perusteella.

Isompia kohteita mallinnettaessa fotogrammetrisesti apuna käytetään usein droneja kattavampien valokuvien saamiseksi. Kehittyneempien dronejen lentoreitit voidaan ohjelmoida kulkemaan ennalta määritellyä reittiä halutulla korkeudella. Automatisoidun lennon aikana drone ottaa valokuvia käyttäjän määrittelemistä sijainneista. Dronen lentoreitti voidaan tehdä erillisten ohjelmien avulla. Esimerkiksi Dronedeploy ja Pix4Dcapture ovat ohjelmia, joiden avulla dronen lentoreitti voidaan suunnitella. Näissä ohjelmissa kuvausalue rajataan Google Mapsin ilmakuvien avulla. Sen lisäksi ohjelmissa on mahdollista määritellä, kuinka paljon kuvien halutaan menevän päällekkäin. Mitä enemmän valokuvat menevät päällekkäin, sitä enemmän niistä löytyy kuvia yhdistäviä pisteitä. Tämä parantaa muodostuvan mallin laatua. Lopuksi määritellään dronen lentokorkeus. Mitä korkeammalla drone lentää, sen epätarkemmaksi malli tulee. Näiden tietojen avulla ohjelmat tekevät lentoreitin automaattisesti. Ohjelmat arvioivat lennon keston, ja ne ohjaavat dronen automaattisesti lähtöpaikkaansa akun vaihtoon siinä vaiheessa, kun akku on lopussa. Akun vaihdon jälkeen drone jatkaa kuvauslentoa lentoreitin mukaisesti. [35.]

5.2 Käytetyt fotogrammetriaohjelmistot

Tässä insinööriyössä tutustuttiin kuuden fotogrammetriatyökalun toimintaan ja soveltuvuuteen pallomaisiin panoraamavalokuviiin. Aluksi jokaisella ohjelmalla tehtiin 3D-malli yksinkertaisesta kohteesta kännykkäkameralla otetuista valokuvista, ja tarkoituksena oli tutustua ohjelmien käyttöön. Sen lisäksi jokaisella ohjelmalla yritettiin tehdä malli pallomaisista panoraamavalokuvista Sweco Finlandin Helsingin Ilmalan toimipisteen aulasta otetuista valokuvista. Aidan tolppaa varten otettiin 27 valokuvaa ja aulasta 90 pallomaista panoraamaa. Mallit tehtiin HP:n ZBook G6 -työasemlla, jossa on Intelin i7 2,60 GHz 6 ydin -proessori, 32 GB keskusmuistia sekä NVIDIA Quadro T2000 -näytönohjain 4 GB:n sisäisellä muistilla. Tietokoneen käyttöjärjestelmänä oli Windows 10.

Ennen mallien tekemistä valokuvia on käsitelty hieman Adoben Photoshop-ohjelmalla. Valokuvien kirkkautta ja kontrastia on hieman nostettu yksityiskohtien erottuvuuden parantamiseksi. Valmiita malleja tarkasteltiin ja muokattiin Blender 3D -mallinnusohjelmalla. Blender 3D on ilmainen ohjelma, ja se tukee useita tiedostomuotoja.

Joistakin fotogrammetriaohjelmista on mahdollista viedä malli useampaan tiedostomuotoon, ja joistakin ohjelmista saa vain yhden tiedostomuodon ulos. COLMAPia lukuun ottamatta kaikista fotogrammetriaohjelmista on mahdollista saada malli Wavefront .obj -tiedostomuodossa. Se on alun perin Wavefront Technologies -yhtiön kehittämä tiedostomuoto, joka sisältää 3D-mallin muodon, polygonit ja koordinaatit. Wavefront Technologies siirtyi useiden yrityskauppojen myötä Autodesk-ohjelmistoyhtiöön. .obj-tiedostomuodon yhteydessä muodostuu materiaalitiedosto, .mtl-tiedosto, joka sisältää materiaalitiedot. .obj-tiedostomuoto tulee englannin kielen sanasta object, jonka voi ajatella sisältävän ohjeen kappaleen muodostamiseen. .mtl taas tulee englannin kielen sanoista material template library. COLMAPissa muodostuu malli vain .ply- eli Polygon File Format -tiedostomuodossa. Tiedostomuoto tunnetaan myös nimellä Stanford PLY, joka on erityisesti 3D-tulostamisessa käytetty tiedostomuoto. Se sisältää tiedon 3D-mallin muodostamiseen polygoneista. [36; 37; 38, s.15.]

5.2.1 COLMAP

COLMAP on ilmainen fotogrammetriatyökalu, joka on ladattavissa GitHubista. GitHub on verkkosivusto, joka tarjoaa säilytys- ja jakoalustan ohjelmistoprojekteille. GitHubin

keskeisin ominaisuus on Linus Torvaldsin luoma Git, joka on hajautettu versionhallintajärjestelmä. Sen avulla samaa projektia tekevät ihmiset voivat tehdä muutoksia samanaikaisesti yhteen tai useampaan rinnakkain kehitettävään versioon. Gitin avulla sovelluskehittäjät näkevät helposti versioon tehdyt muutokset. [39; 40.]

GitHub tarjoaa graafisen käyttöliittymän komentorivipohjaiselle Gitille. GitHubin avulla käyttäjätunnuksen tehneet käyttäjät voivat luoda sinne projektikohtaisia lähdekoodivarastoja. Ne voivat olla julkisia tai yksityisiä. Kuka tahansa käyttäjä voi luoda itselleen kopion julkisista lähdekoodivarastoista ja kehittää siitä oman version. Omaan versioon tehtyjä muutostyökaluiksi käyttäjät voivat tarjota alkuperäiselle kehittäjälle, joka voi halutessaan lisätä muutoksen omaan versioon. GitHub on suosittu avoimen lähdekoodin projekteissa, joissa jakaminen ja yhteistyö on luonteenomaista. GitHubia on luonnehdittu myös ohjelmoijien sosiaalisesti verkostoksi, koska jokaisella käyttäjällä on oma profiili palvelussa. Profiileissa näkyy menneet ja nykyiset työt ja projektit sekä muille käyttäjille tarjotut muutostyökalut. GitHubista on saatavilla myös työpöytäversio. [39; 40.]

COLMAPilla on mahdollista tehdä 3D-malleja tavallisista suorakulmaisista valokuvista, mutta niiden laatu ei ollut vertailussa olevien ohjelmien parhaimmista (kuva 4). Pallomaisista panoraamoista ohjelma ei saanut tehtyä mallia. Ohjelma muodostaa mallin pelkästään polygon file formatissa (.ply). Ohjelmassa itsessään ei saa mallia näkymään, mutta mallin voi avata esimerkiksi ilmaisilla Blender 3D- tai MeshLab-ohjelmilla. COLMAPissa saa kuvien perusteella valmistuneen pistepilven näkyviin.



Kuva 4. COLMAP-ohjelmalla tehty 3D-malli suorakulmaisista valokuvista.

5.2.2 AliceVision Meshroom

Meshroom on ilmainen avoimen lähdekoodin fotogrammetriaohjelma, joka pohjautuu AliceVisionin ohjelmistokehykseen. AliceVision on Tšekin Teknillisen yliopiston CTU:n, École des Ponts ParisTech -yliopiston IMAGE-tutkimusryhmän, Institut National Polytechnique de Toulouse (INPT) -yliopiston, Mikros Image -animaatioyhtiön ja norjalaisen Simula Research Laboratoryn yhteistyön tulos. [34; 41.]

Meshroom tekee kolmiulotteisia malleja suorakulmaisista valokuvista, mutta pallomaisista panoraamoista se ei kykene muodostamaan malleja. Ohjelmaan valitaan ne valokuvat, joiden pohjalta mallin halutaan valmistuvan. Ohjelma käynnistää

mallinnusprosessin start-painiketta painettaessa. Ohjelma luo mallin automaattisesti. Oletusasetuksilla syntyy melko tarkka malli (kuva 5). Mallin tarkkuutta voi muuttaa tarvittaessa. Ohjelman, valokuvien tai tallennuskansion tiedostopoluissa saa olla vain ASCII-yhteensopivia merkkejä. Meshroomista saa mallin vain .obj-tiedostomuodossa.



Kuva 5. Meshroom-ohjelmalla mallinnettu aita.

5.2.3 Metashape

Agisoft Metashape on maksullinen fotogrammetriaohjelma, jonka avulla valokuvista on mahdollista tehdä 3D-malleja omalla tietokoneella. Ohjelmasta ei ole saatavilla pilvipalvelua mallin työstämiseen. Metashape käyttää valokuvien paikkatietoja hyväksi, mikäli niitä on saatavilla. Aluksi Metashape määrittelee kuvien sijainnit ja tekee niistä harvan pistepilven (tie point -pilven). Harvan pistepilven avulla ohjelma tekee 3D-mallin, joka voi olla pistepilvi tai pintamalli. Metashape tekee 3D-malleja myös pallomaisista panoraavalokuvista, mutta niiden taso on sen verran huono, ettei niistä ole hyötyä

laitossuunnittelun näkökulmasta (kuvat 7 ja 8). Pallomaisia panoraamoja käytettäessä mallin syötteinä on valikoista muutettava valokuvien muoto pallomaisiksi (spherical). Suorakulmaisista valokuvista tehdyt mallit olivat hyviä. Tässä fotogrammetriaohjelmassa kännykkäkameralla otetuilla kuvilla sai aikaiseksi melko hyviä malleja, mutta esimerkiksi kuvassa 6 nähtävässä mallissa metalliaidan verkkorakenne ei mallintunut kunnolla. Metashapesta sai vietyä mallin 11:ssä eri tiedostomuodossa, mm. Wavefront OBJ-, Stanford PLY- ja Autodesk FBX -tiedostomuodoissa. [35; 42.]



Kuva 6. Metashapella tehty malli kännykkäkameroilla otetuilla kuvilla.



Kuva 7. Metashapella tehty malli pallomaisista panoraamoista.



Kuva 8. Metashapella tehty malli pallomaisista panoraamoista sisäpuolelta.

5.2.4 Pix4D

Pix4D on fotogrammetriin ohjelmiin ja tietokonenäköön erikoistunut yhtiö. Pix4D-tuoteperheen ohjelmat ovat maksullisia, ja niitä voi käyttää sekä omalla tietokoneella että netin kautta pilvessä. Pix4D-tuoteperheeseen kuuluu mm. 3D-karttojen tekemiseen tarkoitettu Pix4Dmapper, rakennusten mallintamiseen käytetty Pix4Dbim ja dronen lentoreitin suunnitteluun tarkoitettu Pix4Dcapture. Pix4D käyttää hyväksi valokuvien paikkatietoja

mallin luomiseen. Pix4D:llä on mahdollista tehdä malli valokuvista myös ilman valokuvien paikkatietoja. Dronella kuvattaessa mallin tarkkuutta on mahdollista parantaa käyttämällä lentoreittien suunnitteluun tarkoitettua ohjelmistoa. Pix4D-ohjelma ei vaikuttanut olevan kovin hyvä pienten kohteiden mallintamisessa (kuva 9). Sen vahvuudet ovat 3D-karttojen ja isompien kohteiden ja alueiden mallintamisessa. Ohjelmalla on mahdollista muodostaa malleja pallomaisista panoraamakuvista, mutta syntyneet mallit eivät olleet laitossuunnittelun näkökulmasta käyttökelpoisia (kuvat 10 ja 11). Pix4D vie mallin useassa eri tiedostomuodossa, mm. PLY, FBX ja OBJ. [43.]



Kuva 9. Pix4D:n malli suorakulmaisista valokuvista.



Kuva 10. Pix4D:n muodostama malli pallomaisista panoraamoista.



Kuva 11. Pix4D:n malli sisäpuolelta.

5.2.5 Autodesk ReCap Pro

Recap Pro on amerikkalaisen Autodesk-ohjelmistoyhtiön maksullinen ohjelma, jonka avulla ReCap muodostaa valokuvista malleja pilvipalveluna. Käyttäjä valitsee ne valokuvat, joiden pohjalta haluaa mallin valmistuvalle. Valokuvat lähetetään Autodeskin pilveen, jossa valokuvista tehdään 3D-malli. Autodesk lähettää valmiin mallin käyttäjälle. ReCapissa käyttäjän on mahdollista tehdä yksinkertaisia muokkauksia malliin, mutta vaativampi mallin editointi kannattaa tehdä jollain kehittyneemmällä 3D-mallinnusohjelmalla. ReCap-ohjelman käyttö ei edellytä kovin tehokasta työasemaa, koska vaativat mallinnusprosessit tapahtuvat Autodeskin servereillä. ReCapin käytön kustannukset riippuvat käytön määrästä. ReCap-ohjelmassa on kuukausittainen tai vuosittainen maksu, jonka lisäksi pilvessä tehtävä mallinnus edellyttää Autodeskin omien Cloud Creditien käyttöä. Cloud Creditejä kuluu sitä enemmän, mitä enemmän valokuvia Autodeskin palvelimelle lähetetään. 1–300 valokuvaa vaatii 12 Cloud Creditiä, 30–700 valokuvaa vaatii 30 Cloud Creditiä ja 701–1 000 valokuvan lähettäminen kuluttaa 55 Cloud Creditiä. Autodeskin minimivaatimus valokuvien määrälle on 20. Cloud Creditit ostetaan Autodeskiltä. [44.]

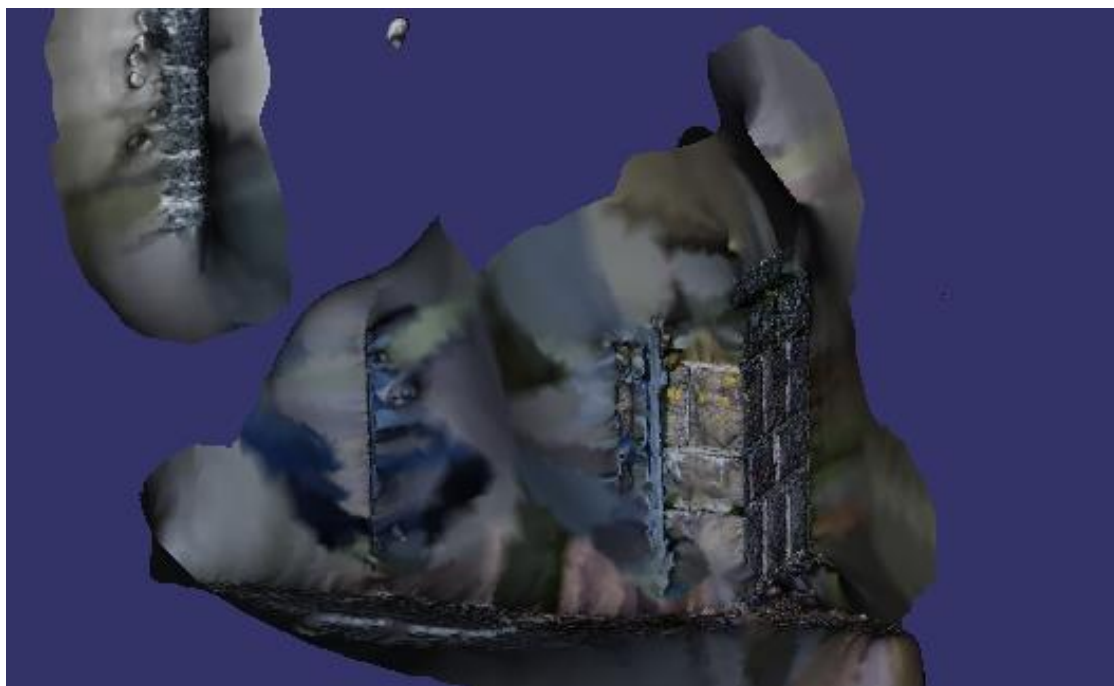


Kuva 12. ReCap Prolla tehty malli.

ReCap Prossa käyttäjä voi valita tekeekö mallin ilmakuviista vai lähikuvista. ReCap Pro myös synkronoi tiedot Leica BLK360 -skannerin kanssa tarkemman 3D-mallin luomiseksi. Leica BLK360 on laserskanneri, jossa on sisäänrakennettu panoraamakamera. [44.]

5.2.6 Regard3D

Regard3D on ilmainen avoimen lähdekoodin fotogrammetriaohjelma. Testissä olleista ohjelmista Regard3D oli huonoin (kuva 13). Suorakulmaisista valokuvista ohjelma teki mallin, mutta pallomaisista panoraamoista se ei kyennyt tekemään mallia. Regard3D vie malleja OBJ- ja PLY-muodoissa.



Kuva 13. Regard3D:n tekemä malli aidasta.

5.3 Walkabout Worlds -ohjelma

Walkabout Worlds on kehitysvaiheessa oleva ohjelmisto, jonka avulla 360 asteen valokuvista on helppo tehdä yksinkertaisia malleja. Walkabout Worlds -ohjelmaa ei ole vielä

julkaistu. Ohjelman kokeileminen edellytti rekisteröitymistä beta-testaajaksi, jonka jälkeen ohjelman latauslinkki lähetettiin sähköpostiin.

Walkabout Worlds ei ole fotogrammetriaohjelma. Walkabout Worlds -ohjelmassa käyttäjän on mahdollista rakentaa 3D-malli pallomaisista panoraamavalokuvista osoittamalla valokuvista esimerkiksi huoneiden kulmien paikat. Ohjelmalla saa helposti tehtyä melko hyviä malleja tyhjästä tiloista ja huoneista, mutta esimerkiksi laitteiden tai huonekalujen mallintaminen ohjelmalla ei onnistu kovinkaan hyvin (kuva 14).



Kuva 14. Walkabout Worlds- ohjelmalla mallinnettu aulatila neljällä pallomaisella panoraamakuvalla.

6 Case: kaukolämpöpumppuprojekti

360°-kameran toimivuutta suunnittelutyössä testattiin 13.2.2020 asiakkaan voimalaitoksella. Kyseiselle voimalaitokselle suunnitellaan uutta lämpöpumppaamo, jonka tarkoituksena on tuottaa kaukolämpöä meriveteen sitoutuneesta lämmöstä lämpöpumppujen

avulla. Tämä vaati uusien putkien suunnittelua voimalaitoksen maanalaisiin tiloihin. Voimalaitokselta otetuista valokuvista kävi ilmi tämän tyyppisen valokuvauksen vahvuus. Pallomaiset panoraamavalokuvat antavat ympäristöstä hyvin kattavan valokuvan. Kuvaa tarkennettaessa tiettyyn kohtaan kuvan tarkkuus on heikompi kuin kännykkäkameralla kuvattaessa, mutta panoraamakuvissa suunnittelija voi myöhemmin tarkastella sellaista kohtaa mitä kuvaushetkellä ei pitänyt oleellisena. Kuvatuissa tiloissa oli paljon laitteistoa ja putkistoa, mikä käytännössä esti 3D-mallin tekemisen valokuvista. Testivaiheessa kävi ilmi, että pallomaisista panoraamoista muodostetut mallit ovat hyvin epätarkkoja ja epämääräisiä, vaikka kuvauskohteena oli ollut tilana hyvin yksinkertainen aulatilaa. Pix4D ja Metashape tekivät kolmiulotteiset mallit osasta voimalaitoksen tiloista mutta niiden taso oli niin huono, ettei niistä ollut mitään käytännön hyötyä.

Panoraamavalokuvista pystyy myös rajaamaan näkymiä tavallisten kameroiden kaltaiseksi suorakulmaisiksi valokuviksi ilman vääristymiä ja tekemään näistä näkymistä malleja. Tällöin mallien pohjana toimivat valokuvat jäävät laadultaan heikoksi. Tavallisella kännykkäkameralla saa parempia valokuvia. Se ei myöskään poista fotogrammetrian perusongelmaa, eli valokuvia pitäisi saada riittävän kattavasti kuvattavan kohteen ympäriltä. Verrattain ahtaassa voimalaitoksen merivesipumppaamossa ei ollut mahdollista kuvata kohteita riittävän etäältä, jotta niistä olisi saanut käyttökelpoisen mallin aikaiseksi fotogrammetrian avulla. Yksittäisten säiliöiden tai pumppujen mallintaminen tällaisella tavalla olisi erittäin hankalaa ahtaassa tilassa.

7 Pohdintaa

Laitossuunnittelun näkökulmasta 360°-kameralla otetut valokuvat ja videokuva helpottavat tilan havainnointia huomattavasti perinteisiin suorakulmisiin valokuviin verrattuna. Pallomaisten panoraamojen avulla tilasta saa kattavampia näkymiä, ja koko tilan saa dokumentoitua helpommin ilman katvealueita. Suunnittelijan tutustuessa kohteeseen suunnittelija ei välttämättä tiedä tarkalleen, mikä kohta tilasta olisi oleellista valokuvata. 360°-kamera tallentaa tilan niin kattavasti, että valokuvista on mahdollista nähdä sellaisetkin kohdat jälkeenpäin, mitä suunnittelija ei kuvanottohetkellä pitänyt oleellisena. Kuvien tarkastelussa kannattaa käyttää hyväksi jotakin virtuaalikerrosohjelmaa, jonka avulla valokuvanäkymien välillä on helppo siirtyä. Joidenkin maksullisten virtuaalikerrosohjelmien mukana tulee mahdollisuus piirtää esimerkiksi rakennuksen pohjakuva ja

upottaa siihen valokuvien paikkoja. Virtuaalikierrosten tekeminen vaatii hieman aikaa mutta se on kannattavaa tehdä, varsinkin jos kuvattava kohde on iso ja valokuvia on paljon. Valokuvaaja itse voi vielä muistaa, mistä kohdista valokuvat on otettu, mutta mikäli samoja valokuvia tarkastelee sellainen suunnittelija, joka ei itse ole käynyt paikan päällä kohteessa, valokuvien ottohetken sijainnin määrittäminen on hankalaa. Näin on varsinkin, mikäli kuvattavassa kohteessa on useita samannäköisiä objekteja, esimerkiksi pumppuja tai säiliöitä. Tällöin eri valokuvista voi näkyä hyvin samankaltaisia näkymiä, joiden sijainnin määrittäminen on hankalaa. Käytössä ollut Garmin Virb 360 -kamera tallentaa valokuviiin paikkatietoja, mutta ne eivät pitäneet paikkansa esimerkiksi sisätiloissa tai maan alla.

Nykyään valokuvista on mahdollista saada hyviäkin 3D-malleja fotogrammetriatyökalujen avulla mutta tällä tekniikalla on rajoituksensa. Kokeilemalla selvisi, että parhaat mallit syntyvä silloin, kun kuvattavasta kohteesta saa otettua valokuvia riittävän etäältä ja riittävän tiheästi. Kuvattavasta kohteesta on otettava valokuvia säännöllisesti vierekkäin ja useassa tasossa. Fotogrammetriaohjelmat etsivät valokuvista yhteisiä pisteitä, joiden avulla ne sijoittavat kameroiden sijainteja toisiinsa nähden muodostaen pistepilviä kuvatuista kohteista. Tämän takia kuvat on otettava riittävän lähekkäin toisistaan. Ohjelmat eivät ota huomioon niitä valokuvia, joista ne eivät tunnista yhteisiä pisteitä. Mikäli kuvaa kohteen, esimerkiksi rakennuksen ympäri vain yhdessä tasossa, on tärkeää, että jokaisessa valokuvassa kohde näkyy kokonaan.

Mikäli ohjelmat eivät löydä yhteisiä pisteitä kahden valokuvan välillä, ohjelmat hylkäävät herkästi kaikki sitä seuraavat valokuvat. Näin rakennuksesta saattaa muodostua malli vain esimerkiksi kahdelta sivulta. Jotkin ohjelmat, kuten Agisoft Metashape, Pix4D ja Autodesk ReCap, käyttävät paikannustietoja hyväksi mallin luomisessa. Pienen kuvauskohteen ympärillä paikkatiedot eivät välttämättä ole luotettavia. GPS:n ja GLONASS-järjestelmien tarkkuus on hieman alle 2,5 metriä [45.]. Myös maan alla tai rakennusten sisällä kuvattaessa paikkatiedot eivät usein pidä paikkansa. Virheellisesti tallentuneet paikkatiedot voivat sekoittaa prosessia. Ohjelmissa käyttäjä voi valita, haluaako ohjelmien hyödyntävän kuvien paikkatietoja.

Fotogrammetriaohjelmat toimivat parhaiten muodoiltaan yksinkertaisien kohteiden mallintamisessa. Suoralinjaisten rakennusten mallintaminen onnistuu suhteellisen helposti, mikäli rakennuksesta on saatavilla riittävästi kuvia. Isommat kohteet vaativat valokuvia

ilmasta. Parhaan lopputuloksen saisi kehittyneellä dronella, jossa olisi kunnollinen kamera. Mikäli dronen ohjelmoisi kulkemaan ennalta suunniteltua reittiä GPS- ja GLONASS-järjestelmiä hyväksi käyttäen, kohteesta olisi mahdollista saada riittävän kattava kuvapaketti laadukkaan mallin luomiseksi.

Fotogrammetriaohjelmilla tehdyillä malleilla on paljon eroja tiedostomuotojen ja tiedostojen kokojen kanssa. Suurimmassa osassa ohjelmista mallit ovat saatavilla Wavefront OBJ muodossa. Tiedostojen koot vaihtelivat myös paljon. Aidan tolpasta tehty malli muodostettiin 27:stä valokuvasta, jolloin muodostuneen mallin tiedostokoot vaihtelivat Pix4D:n 17,5 megatavusta Metashapen 1,15 gigatavuun. Samoin vaihtelivat mallin muodostamiseen kuluneet ajat Pix4D:n viidestätoista minuutista Regard3D:n useampaan tuntiin. Omalla tietokoneella tehtyjen mallien tekemiseen käytettyyn aikaan vaikuttaa tietokoneen komponenttien lisäksi tietokoneen samanaikaisen käytön tuoma kuorma. Mikäli tietokonetta käyttää muuhun työskentelyyn samaan aikaan mallin luomisen kanssa, mallin tekemiseen käytetty aika pidentyy. Mallien tiedostojen koot ja muodostamiseen kuluneet ajat eivät tuntuneet korreloineen juurikaan eri ohjelmien välillä. Sen sijaan samaa ohjelmaa käytettäessä valokuvien lukumäärän ja laadun kasvaessa lisääntyy mallintamiseen kulunut aika.

Tässä insinööriyössä testatuissa fotogrammetriaohjelmistoissa oli pieniä ongelmia käytettävyyksien kanssa. Esimerkiksi Meshroom lopettaa mallin tekemisen kesken, mikäli mallin tai valokuvien tiedostopoluissa on ASCII-yhteensopimattomia merkkejä, esimerkiksi ä- tai ö-kirjaimia. Tätä ohjelma ei ilmoita mitenkään selvästi. Ohjelma antaa seuraavan virheilmoituksen:

```
ERROR:root:Error during Graph execution Error on node "PrepareDenseScene_1"
```

COLMAP-ohjelma kaatui useamman kerran varoittamatta, ilmeisesti sen takia että keskusmuisti tai näytönohjaimen muisti tuli täyteen. ReCap toimi suurimman osan ajasta moitteettomasti, mutta kaksi kertaa ohjelma teki mallin pilvessä mutta ei onnistunut lähettämään mallia takaisin koneelle. Pilvessä mallia oli mahdollista tarkastella ja se oli mahdollista ladata sieltä omalle tietokoneelle, mutta malli näkyi ilman pinnan tekstuuria. Regard3D vie mallin OBJ-muodossa mutta ei luo MTL-materiaalitiedostoa. Pix4D-ohjelman sisäisessä hierarkiassa paikkatiedot tuntuvat menevän joissain tilanteissa kuvien yhdistämisessä käytettyjen pisteiden yläpuolelle. Kerran ohjelma sijoitti yhden rakennuksen seinän selvästi irti muusta rakennuksesta ja peilikuvana todelliseen sijaintiin nähden.

Tarkemmassa tarkastelussa kävi ilmi, että kuviin tallentuneet paikkatiedot olivat yli kymmenen metriä pielessä. Useammasta ohjelmasta viety Wavefront OBJ -mallin mukana tullut MTL-materiaalitiedosto ei auennut suoraan Blender-ohjelmalla. Testimalleja ajassa joutui pahimmillaan odottamaan yli neljä tuntia mallin muodostamista, ja tämän jälkeen kävi ilmi, että malli ei onnistunut kovinkaan hyvin.

Fotogrammetriaohjelmistot eivät suoriudu kovinkaan hyvin esimerkiksi läpinäkyvien lasien, verkkoaitojen, tikapuurakenteiden, puun oksien tai ilmassa kulkevien johtojen tai putkien mallintamisesta. Ahtaiden, täynnä laitteistoa ja putkistoa olevien sisätilojen mallintaminen valokuvista on myös erittäin hankalaa. Tilan voisi jakaa kuvien suhteen osiin ja yrittää mallintaa laitoksen sisätiloja pieniä osia kerrallaan, sekä yrittää CAD-ohjelmilla täydentää syntyvien mallien aukkoja, mutta tämä vaatisi suunnattoman määrän työtä eikä syntyvä malli olisi kuitenkaan mittatarkka. Tekniikan kehittyessä laserkeilauksen hinta on laskenut ja sillä saatava malli tai pistepilvi on mittatarkka. Mikäli laserkeilauksen hinta olisi samaa luokkaa fotogrammetriamallin työskentelykustannusten kanssa, kannattaisi kohteesta ehdottomasti tilata laserkeilaus. Ulkona sijaitsevien tuotantotilojen mallintaminen dronella ja kameralla voisi olla yksi fotogrammetrian hyödyntämiskohteista. Myös tehdasalueen tai sen osien mallintaminen voisi olla hyödyllistä suunnittelun kannalta. Valokuvista tehty malli alueesta tai tuotantolinjasta olisi huomattavasti havainnollisempi suunnittelijalle kuin pelkät kartat ja valokuvat.

Pallomaisista panoraamakuvista ei testissä olleilla ohjelmilla syntynyt käyttökelpoisia malleja. Testissä olevista ohjelmista Pix4D ja Metashape olivat ainoita ohjelmia, joilla oli mahdollista saada malli 360 asteen valokuvista. Mallit olivat kuitenkin sen verran epätarkkoja, ettei niillä ole mitään käytännön sovellusmahdollisuuksia. Yksinkertaisista, tyhjiä ja hallimaisista tiloista on mahdollista tehdä jonkinlaisia malleja, mikäli valokuvia on otettu riittävästi. Laitossuunnittelun näkökulmasta tyhjien hallimaisten rakennuksen mallintaminen valokuvista ei ole kovin hyödyllistä. Hallimainen tila on helposti mallinnettavissa CAD-ohjelmilla mittojen mukaan. Mitä enemmän tilassa on laitteita, putkia, huonekaluja tai muita yksityiskohtia ja objekteja, sen epätarkemmaksi fotogrammetrialla tehdyt mallit menevät. Testivaiheessa tehdyt mallit muodoltaan yksinkertaisesta aulasta tehtiin 90 panoraamavalokuvasta. Mikäli asiakkaan voimalaitoksen tiloista haluaisi saada laadultaan samantasoisien mallin, pitäisi tilasta ottaa tuhansia valokuvia ja mallintaa tila osissa. Tämän jälkeen mallit pitäisi yhdistää 3D-mallinnusohjelmalla. Lopputuloksena

saatava malli olisi kuitenkin hyvin epätarkka. Malli vaatisi muokkausta, ja siinä olevia reikiä sekä puuttuvia objekteja pitäisi mallintaa käsin.

Laitossuunnittelun kannalta on tärkeää, että tilasta saatavat mittatiedot ovat oikein. Mikäli fotogrammetrinen malli vaatisi muokkausta ja siihen pitäisi lisätä esimerkiksi putkia tai muita komponentteja, niitä varten pitäisi ottaa mittoja paikan päältä. Mittojen ottaminen ja komponenttien mallintaminen käsin lisäisi työaikaa ja kustannuksia. Fotogrammetrian hyödyntäminen laitossuunnittelussa olisi kannattavaa vain, mikäli mallin saisi tehtyä vähällä työmäärällä ja mikäli sen avulla voitaisi mitoittaa suunniteltavia putkistoja ja laitteistoja riittävällä tarkkuudella.

Tätä työtä varten myös internetistä etsittiin pallomaisista panoraamoista tehtyjä malleja vertailun vuoksi, mutta kovinkaan laadukkaita malleja vähänkään monimutkaisemmista tiloista ei löytynyt internetin hakukoneiden avulla. Vaikuttaa siltä, että tekniikka ei vielä ole sillä tasolla, että pallomaisista panoraamoista saisi tehtyä hyvän mallin kätevästi. Laserkeilaus tulee pysymään suosittuna tapana mittauttaa isompia kohteita tulevaisuudessaakin, varsinkin kun laserkeilauksen hinta on laskenut jatkuvasti. Tekniikan kehittyessä laserkeilaukselle on kuitenkin tullut vaihtoehtoja. Nykyään markkinoille on tullut esimerkiksi infrapunatekniikkaa käyttäviä kameroita, jotka ovat hankintahinnaltaan huomattavasti halvempia kuin laserkeilaimet. Tämän raportin tekohetkellä laadukkaampien laserkeilaimien hinnat liikkuvat kymmenissä tuhansissa euroissa, kun taas laadukkaamman infrapunakameran saa alle neljällä tuhannella eurolla. Laserkeilaimien hankintahinnat ovat sen verran kalliita, että yritysten ei kannata niitä hankkia, ellei niille ole paljon käyttöä. Suunnittelutoimistolle voisi olla kannattavaa hankkia laserkeilain, mikäli se alkaisi myymään laserkeilausta palveluna asiakkailleen. Infrapunakameroiden tarkkuudet ja kantavuudet ovat selvästi huonommat kuin laserkeilaimissa. Infrapunakameran tarkkuus voisi olla riittävä joissakin kohteissa, mikäli kriittisiä mittoja, kuten esimerkiksi putkiyhteiden tarkkoja sijainteja, käytäisiin mittaamassa paikan päällä.

Pallomaisista panoraamoista on mahdollista rajata perinteisiä suorakulmaisia valokuvanäkymiä kuvankäsittelyohjelmilla mutta se on työlästä ja kuvien resoluutio jää tällöin vaatimattomaksi. Mikäli fotogrammetriaa haluaa hyödyntää, kannattaa suorakulmaisia valokuvia ottaa joko laadukkaalla kännykkäkameralla tai järjestelmäkameralla. Tässä insinööriyössä testissä olleessa Garmin VIRB 360 -kameralla on mahdollista ottaa myös perinteisiä suorakulmaisia valokuvia ilman vääristymiä, mutta silloin kuvien resoluutio jäi

heikoksi. Tässäkin tapauksessa laadukkaalla kamerakännykällä saa huomattavasti tasokkaampia valokuvia.

8 Yhteenveto

360°-kameraa kannattaa ehdottomasti hyödyntää tulevaisuudessa laitossuunnittelussa. Vaikka fotogrammetriasta voisi olla joissain tilanteissa hyötyä laitossuunnittelun kannalta, 3D-mallien tekemiseen ei kannata käyttää 360°-kameraa. Pallomaisista panoraamoista ei saa laitossuunnittelun näkökulmasta tehtyä kovin käyttökelpoisia malleja. Valokuvista tehtävän 3D-mallinnuksen pitäisi tapahtua nopeasti ja kätevästi, jotta niitä olisi kannattavaa tehdä. Mikäli suunnittelija käyttää pienehkön tilan mallintamiseen valokuvien avulla useita työpäiviä työaikaa, se voi tulla kalliimmaksi kuin saman kohteen laserkeilaaminen. Eikä valokuvista tehty malli kuitenkaan ole tarkkuudeltaan lähelläkään samaa luokkaa laserkeilauksen kanssa. Isomman tehdasalueen tai ulkona sijaitsevien tuotantolinjastojen tai muun laitteiston fotogrammetrinen mallintaminen voisi olla kannattavaa tietyissä tilanteissa, mutta silloin ne valokuvat kannattaa ottaa jollain muulla kameralla kuin 360°-kameralla. Vaikka 360°-kameralla saa otettua perinteisiä suorakulmaisia valokuvia ilman tynnyrivääristymiä, niin niiden kuvien taso on selvästi heikompi kuin keskihintaisella älypuhelimella otettujen kuvien.

Vaikka 360°-kameraa ei ole kannattavaa käyttää 3D-mallien tekemiseen, pallomaiset panoraamavalokuvat ovat kuitenkin hyvin käyttökelpoisia laitossuunnittelun näkökulmasta. 360°-kameralla on mahdollista saada kohteesta huomattavasti kattavampia valokuvia kuin nykyään enimmäkseen käytetyillä kännykkäkameran kuvilla. Pallomaisten panoraamojen tarkastelussa on kannattavaa käyttää jotakin virtuaalikierrrosohjelmistoa, jossa on mahdollista linkittää valokuvia toisiinsa niin, että liikkuminen valokuvanäkymien välillä on helppoa. Mikäli kuvattava kohde on iso ja valokuvia on paljon, tilan hahmottaminen on valokuvista hankalaa. Mikäli vierekkäisistä panoraamoista muodostaa esimerkiksi koko tilan kattavan jatkuvan ketjun upottamalla valokuviin aina edellisen ja seuraavan valokuvan, niin tilan hahmottaminen helpottuu huomattavasti. Avaraan tilaan voi liittää useampiakin valokuvia. Kehittyneemmillä virtuaalikierrrosohjelmilla on myös mahdollista tehdä kuvatusta tilasta kartta tai pohjakuva, johon voi upottaa valokuvia. Näin siirtyminen haluttuun näkymään helpottuu huomattavasti.

Lähteet

- 1 Sweco Finland. 2020. Swecon sisäinen dokumentti. Luettu 17.4.2020.
- 2 The human eye. 2020. Verkkoaineisto. Lumen. <<https://courses.lumenlearning.com/boundless-physics/chapter/the-human-eye/>>. Luettu 18.2.2020.
- 3 What's the Difference between 4K and UHD? 2015. Verkkoaineisto. Planar. <<https://www.planar.com/blog/2015/9/9/what-s-the-difference-between-4k-and-uhd/>>. Luettu 17.2.2020.
- 4 Frich, Arnaud. 2020. What is a panoramic photography? Verkkoaineisto. The guide to panoramic photography. <<https://www.panoramic-photo-guide.com/panoramic-photography.html>>. Luettu 18.2.2020.
- 5 How To Get Started in 360° Panoramic Photography. 2020. Verkkoaineisto. 360Cities. <<https://www.360cities.net/help/taking-panoramic-pictures/how-to-get-started>>. Luettu 17.2.2020.
- 6 Rantalainen, Mikael. Panoraamavalokuvaus: Panoraamapää ja No-Parallax Point (NPP). Verkkoaineisto. <<http://www.maisemanlumo.fi/artikkelit/panoraamavalokuvaus-panoraamapaa-ja-no-parallax-point-npp/>>. Luettu 20.2.2020.
- 7 Frich, Arnaud. 2020. What photo equipment to take a panorama?. Verkkoaineisto. The guide to panoramic photography. <<https://www.panoramic-photo-guide.com/what-equipment-for-panoramic-photography.html>>. Luettu 20.2.2020.
- 8 Frich, Arnaud. 2020. How many photos to make a virtual tour? Verkkoaineisto. The guide to panoramic photography. <<https://www.panoramic-photo-guide.com/virtual-tour-360-photography/how-many-photos-what-focal-to-make-a-virtual-tour.html>>. Luettu 22.2.2020.
- 9 Panoraamojen luonti. 2019. Verkkoaineisto. Adobe. <<https://helpx.adobe.com/fi/camera-raw/using/create-panoramas.html>>. Luettu 22.2.2020.
- 10 Fisheye lens explained. 2020. Verkkoaineisto. Everything Explained Today. <http://everything.explained.today/Fisheye_lens/>. Luettu 24.2.2020.
- 11 Meyer, Jeff. 2018. What is the Garmin VIRB 360. Tuotearvostelu. Camera Jabber. <<https://camerajabber.com/garmin-virb-360-review/>>. Luettu 24.2.2020.
- 12 Garmin Virb 360. 2020. Verkkoaineisto. Garmin. <<https://buy.garmin.com/fi-FI/FI/p/562010#overview>>. Luettu 24.2.2020.

- 13 VIRB 360. 2020. Käyttöopas. Garmin. <<https://www8.garmin.com/manuals/webhelp/virb360/EN-US/GUID-6D257476-3980-4A9A-B5D3-2599B7B1A76D.html>>. Luettu 24.2.2020
- 14 Maker, Ray. 2017. Garmin VIRB 360 5.7K Action Cam In-Depth Review. Tuotearvostelu. DC Rainmaker. <<https://www.dcrainmaker.com/2017/05/garmin-virb-360-action-cam-review.html>>. Luettu 24.2.2020.
- 15 Garmin VIRB sovellus. 2020. Käyttöopas. Garmin. <<https://www8.garmin.com/manuals/webhelp/virb360/FI-FI/GUID-C426529C-11B7-4D1E-97CE-99351BC2D427.html>>. Luettu 24.2.2020.
- 16 VIRB 360 SPECS. 2020. Verkkodokumentti. Garmin. <<https://www8.garmin.com/automotive/pdfs/VIRB360-specs.pdf>>. Luettu 24.2.2020.
- 17 Piispa, Petteri. 2011. Putkistosuunnittelu osana laitosinvestointia. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta
- 18 Leino, Tommi. 2013. Kattilalaitoksen putkistojen layout-esisuunnittelu. Diplomityö. Tampereen Teknillinen Yliopisto. <<https://trepo.tuni.fi/handle/123456789/21955>>.
- 19 Jaatinen, Taisto. 2018. Opetusmateriaali. PSK-standardointi.
- 20 Eurooppalaiset ja muiden maiden kansalliset standardit. 2020. Verkkodokumentti. SFS Suomen Standardisoimisliitto. <https://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/julkaisut/ulkomaiset_julkaisut/eurooppalaiset_ja_muiden_maiden_kansalliset_standardit>. Luettu 26.4.2020.
- 21 Väisänen, Marko. Tiimin vetäjä. Sweco Industry Solutions Helsinki. Keskustelu 20.4.2020.
- 22 Jaakkola, Anttoni. 2015. Low-cost Mobile Laser Scanning and its Feasibility for Environmental Mapping. Väitöskirja. Aalto-yliopisto. <<https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/16212/isbn9789526061986.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.
- 23 Kärkkäinen, Tapio. 2019. Tekninen asiantuntija. Geotrim. Helsinki. Keskustelu 14.11.2019.
- 24 Berghem, Antti. 2020. Tiimin vetäjä. Sweco Industry Solutions Helsinki, Mechanical. Keskustelu 23.1.2020.
- 25 R. Shults, E. Levin, R. Habibi, S. Shenoy, O. Honcheruk, T. Hart, Z. An. 2019. Capability of Matterport 3D camera for industrial archaeology sites inventory. Verkkoaineisto. <<https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf>>

- sci.net/XLII-2-W11/1059/2019/isprs-archives-XLII-2-W11-1059-2019.pdf>. Luettu 3.3.2020.
- 26 Matterport Pro 2. 2020. Verkkoaineisto. Matterport. <<https://matterport.com/cameras/pro2-3D-camera>>. Luettu 7.3.2020.
- 27 Matterport Cloud FAQ. 2020. Verkkoaineisto. Matterport. <<https://support.matterport.com/hc/en-us/articles/208441018-What-kind-of-infrastructure-security-do-you-provide->>. Luettu 7.3.2020.
- 28 AWS Cloud Security. 2020. Verkkoaineisto. Amazon. <<https://aws.amazon.com/security/>>. Luettu 7.3.2020.
- 29 Marzipano. 2020. Verkkoaineisto. <<https://www.marzipano.net/>>. Luettu 20.3.2020.
- 30 Kortelainen, Tuomas. 2020. Rakennusinsinööri. Haahtela. Keskustelu 10.3.2020.
- 31 von Übel, Max. 2020. 2020 Best Photogrammetry Software. Verkkoaineisto. All3DP. <<https://all3dp.com/1/best-photogrammetry-software/>>. Luettu 25.2.2020.
- 32 Mäki, Heikki. 2018. Drone-kuvadatan tuottaminen, analysointi ja fotogrammetria. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 33 Walford, Alan. 2020. What is photogrammetry. Verkkoaineisto. Photogrammetry.com. <<http://www.photogrammetry.com/index.htm>>. Luettu 27.2.2020.
- 34 AliceVision: Advanced 3D Reconstruction, Photomodeling and Camera Tracking through Photogrammetry. 2018. Verkkoaineisto. The Virtual Assist. <<https://thevirtualassist.net/3d-reconstruction-camera-tracking-photogrammetry-alicevision/>>. Luettu 1.4.2020.
- 35 Dronen käyttö ja 3D mallin luominen. 2019. Swecon sisäinen dokumentti. Sweco.
- 36 Wavefront Material Template Library (MTL) File Format. 2020. Verkkoaineisto. Kongressin kirjasto, Yhdysvallat. <<https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000508.shtml>>. Luettu 28.2.2020.
- 37 Autodesk Signs Definitive Agreement to Acquire Alias. 2005. Lehdistötiedote. Autodesk. <<https://web.archive.org/web/20131004223743/http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/item?linkID=14271593&id=5983502&siteID=123112>>. Luettu 28.2.2020.

- 38 Pernu, Raisa. 2019. Raskaasta CAD-mallista kevyeksi peliassetiksi. Opinnäytetyö. Hämeen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 39 Finley, Klint. 2020. What Exactly Is GitHub Anyway? Verkkoaineisto. TechCrunch. <<https://techcrunch.com/2012/07/14/what-exactly-is-github-anyway/>>. Luettu 31.3.2020.
- 40 Brown, Korbin. 2019. What Is GitHub, and What Is It Used For? Verkkoaineisto. How-To Geek. <<https://www.howtogeek.com/180167/htg-explains-what-is-github-and-what-do-geeks-use-it-for/>>. Luettu 31.3.2020.
- 41 Project history. 2020. Verkkoaineisto. AliceVision. <<https://alicevision.org/#about>>. Luettu 2.4.2020.
- 42 Agisoft Metashape. 2019. Käyttöopas. Agisoft. <https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_en.pdf>. Luettu 1.4.2020.
- 43 A project from A to Z. 2020. Verkkodokumentti. Pix4D. <<https://support.pix4d.com/hc/en-us/categories/360001503192-Pix4Dmapper>>. Luettu 25.3.2020.
- 44 ReCap Photo Frequently Asked Questions. 2020. Verkkoaineisto. Autodesk <<https://knowledge.autodesk.com/support/recap/learn-explore/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/ReCap-Photo-Frequently-Asked-Questions.html>>. Luettu 27.2.2020.
- 45 GLONASS Performances. 2018. Verkkoaineisto. Navipedia, Euroopan avaruusjärjestö. <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS_Performances>. Luettu 27.2.2020.