

Lassi Tanskanen ja Torsti Kilkki

Kevyen 3D-mallin tuotantoprosessi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinöörityö

8.5.2018

Tekijä Otsikko	Lassi Tanskanen ja Torsti Kilkki Kevyen 3D-mallin tuotantoprosessi
Sivumäärä Aika	52 sivua 8.5.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	lehtori Jussi Laari lehtori Ilkka Partonen
<p>Insinööriyön aiheena oli tutkia 3D-mallin optimointia. Tarkoituksena oli tuottaa prosessi, jolla pystytään tuottamaan kevyttä, mutta tarkkaa, 3D-mallia. Tätä tutkittiin Espoon Karamalmilta havainnoidulla aineistolla.</p> <p>Aineisto kerättiin ilmakehässä alue Camflight FX8 -kopterilla, johon oli kiinnitetty Sony Alpha 7r -kamera. Tämän jälkeen yksityiskohtaisimmat alueet laserkeilattiin. Molemmista aineistoista käsiteltiin erilliset pistepilvet, jotka luokiteltiin. Saatuja luokitteluja käsiteltiin CloudCompare-ohjelmalla siten, että tasaisemmilta alueilta vähennettiin pisteitä ja yksityiskohtaisemmille alueille jätettiin suhteessa enemmän pisteitä. Näin ollen valmiista mallista pyrittiin tekemään kevyempi ja nopeampi käyttää, säilyttäen resoluution mahdollisimman hyvänä.</p> <p>Prosessin avulla voidaan korjata esimerkiksi ilmakehässä tulevia katvealueita. Havaintojen perusteella huomattiin, että on mahdollista luoda toimiva prosessi, jolla mallin elementtejä keskitetään yksityiskohtaisemmille alueille ja vähennetään tasaisemmilta alueilta.</p>	
Avainsanat	3D, ilmakehässä, laserkeilaus, optimointi

Author Title	Lassi Tanskanen and Torsti Kilkki Producing a lightweight 3D-model
Number of Pages Date	52 pages 8 May 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Jussi Laari, Senior Lecturer Ilkka Partonen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this final year project was to examine 3D-model optimizing. The data which was used in the optimizing process was acquired from Karamalmi, Espoo.</p> <p>The methods for acquiring data were aerial photography and laser scanning. Aerial photos were processed into a point cloud with the Agisoft Photoscan software, whereas laser scanning generated a point cloud more suitable for optimizing at once. Aerial photos were taken with a Sony Alpha 7r camera which was mounted into a remotely piloted aircraft Camlight FX8. The laser scans were performed with a Leica P30 laser scanner.</p> <p>The point clouds were classified in the Terrasolid Terrascan -software separately and combined as a single point cloud in the Cloud Compare software. The optimizing process itself was done by removing points from flat surfaces and maintaining points on the curved areas. The study concluded that the triangulated model became lighter and more usable without significantly reducing the resolution.</p> <p>The process introduced in this Bachelor's thesis can be applied to update and upgrade existing 3D-models.</p>	
Keywords	3D-model, laser scanning, aerial photogrammetry

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Esittely	1
1.2	Hypoteesi	1
2	Havainnointitekniikat	3
2.1	Pohja-aineistot	3
2.1.1	Ilmakuvaus	3
2.1.2	Ilmalaserkeilaus	6
2.2	Tarkennusaineistot	6
2.2.1	Staattinen keilaus	6
2.2.2	Mobiilikeilaus (auto, reppu, mönkijä, moottorikelkka)	7
2.2.3	Autofotopistepilvi	7
2.2.4	Takymetri	7
2.3	Referenssiaineistot	7
2.3.1	Kansallisesti saatavilla oleva aineisto	8
2.3.2	Kaupunkien aineistot karttapalveluissa	8
3	Ohjelmistot	10
3.1	Ohjelmistojen esittely	10
3.1.1	Yleistä	10
3.1.2	Agisoft Photoscan	10
3.1.3	CloudCompare (CC)	11
3.1.4	Leica Cyclone	11
3.1.5	Terrasolid-ohjelmisto	12
3.2	Pistepilviformaatit	13
3.2.1	Yleistä	13
3.2.2	Siirtoformaatteja	13
3.2.3	Sisäisiä formaatteja	15
4	3D-mallin perusteet	16
4.1	Mikä on 3D-malli?	16
4.2	3D-mallin formaatit	18
4.3	Mikä on LOD?	18
4.4	3D-mallinnuksen vaatimukset ja luotettavuus	19

5	Tiedonhankinta	20
6	Koetyö – Karamalmin kampusalue	21
6.1	Johdanto	21
6.2	Pohja-aineiston kerääminen	22
6.3	Pohja-aineiston prosessointi	28
6.4	Laserkeilaus	30
6.5	Laserkeilausdatan prosessointi	32
6.5.1	Leica Cyclonen tietokannan rakenne	32
6.5.2	Leica Cyclone -tietokannan luonti	34
6.5.3	Laserpistepilvien rekisteröinti Cyclonessa	37
6.5.4	Pisteiden vienti Leica Cyclonesta	40
6.6	Pistepilvien luokittelu	41
6.6.1	Fotopistepilven luokittelu	41
6.6.2	Laserpistepilven luokittelu	42
6.7	Pistepilvien prosessointi ja yhdistäminen CloudComparella	43
6.7.1	Pistepilven ominaisuudet	43
6.7.2	Pistepilven käsittely	43
6.7.3	Tarkennusaineisto ilman signaaleita	44
6.8	Kolmiointi ja valmis 3D-malli	47
7	Tulokset ja loppupäätelmät	50
7.1	Pohdinta	50
7.2	Työssä havaittuja näkökulmia ja kokemuksia	50
	Lähteet	52

Lyhenteet

CAD	Computer Aided Design. Tietokone avusteinen suunnittelu.
CC	CloudCompare. Pistepilvien käsittelyohjelma.
LOD	Level Of Details. 3D-mallin luokittelumetodi.
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System. Kauko-ohjattu ilma-alusjärjestelmä.
RTK	Real Time Kinematic. Satelliittimittausmenetelmä, jossa käytetään vähintään kahta satelliittivastaanotinta, joista toinen sijaitsee tunnetulla pisteellä ja toisella kartoitetaan halutut kohteet reaaliajassa.
VRS	Virtual Reference System. Virtuaalinen tukiasema.

1 Johdanto

1.1 Esittely

Tämän insinööriyön tarkoitus on esitellä toimintatapa, miten eri mittausmenetelmiä voidaan hyödyntää kevyen, mutta resoluutioltaan tarkan 3D-mallin muodostamisessa. Menetelmä sopii erityisesti visualisointimalleihin, mutta se on myös mittatarkka. Kokonaisuuden hahmottamisen kannalta on hyvä mallintaa laajempi alue, mutta sen ei tarvitse olla yhtä tarkka kaikkialta. Kaikissa havainnointimenetelmissä on hyviä ja huonoja puolia, joten menetelmän valinta täytyy suorittaa kohteen mukaan.

Nykyään tietomallien vallatessa erityisesti rakennusalaan, pohja-aineiston tarve kasvaa jatkuvasti. Perinteisillä menetelmillä, kuten maastomalli VRS–RTK:lla tai takymetrillä, ei pystytä tuottamaan aineistoa samalla tahdilla kuin ilmakuvausella tai laserkeilauksella. Pistemäärän kasvu pakottaa uudistumaan myös käsittelypuolella. Siellä perinteiset CAD-ohjelmistot eivät tietorakenteesta johtuen kykene käsittelemään monia miljoonia pisteitä kerrallaan, vaan tarvitaan kehittyneempiä ohjelmia. Muutos on lähtenyt liikkeelle vasta viime vuosien aikana kalustojen ja ohjelmistojen hintojen tullessa edullisemmiksi.

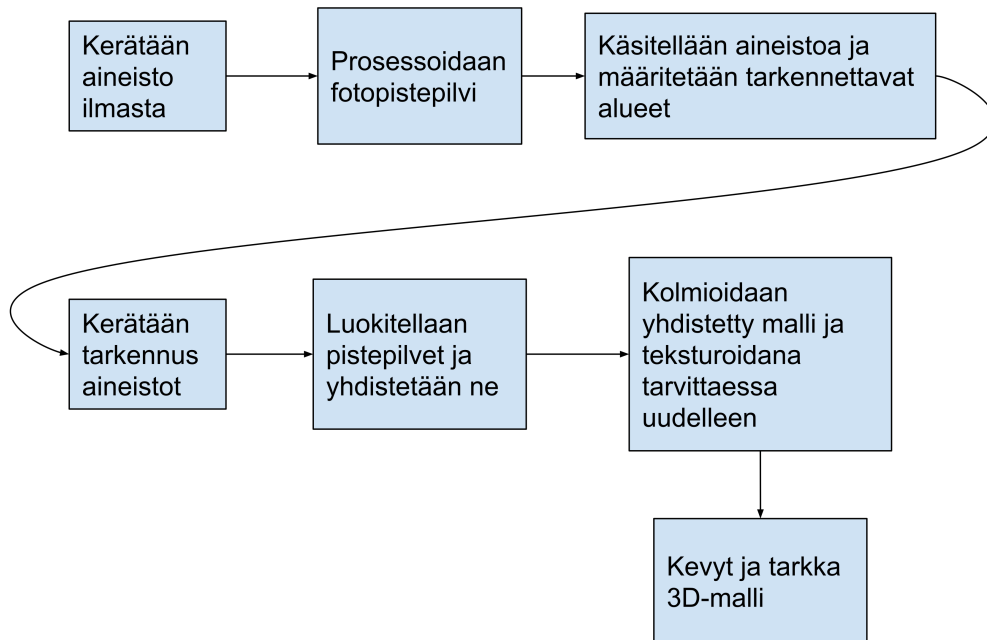
Lisähaasteena tulevaisuudessa on kireä aikataulu ja kustannukset. Nopeaan mallin tuottoon tarvitaan selkeä prosessi, jolla mallia voidaan päivittää vain niiltä osin, kun sitä tarvitaan. Esimerkiksi Helsingin kaupungin kaupunkimalli on toteutettu noin 50 000 pysty- ja viistokuvasta. [1] Kuvauksen suorittaminen uudestaan on työläs ja kallis prosessi verrattuna siihen, että mallia päivitetään vain osissa. Toisaalta suuren mallin päivittäminen vaatii myös tarkan listauksen siitä, mitä pisteitä mallista on päivitetty, mutta tässä työssä esitelty menetelmä ottaa kantaa vain itse mittausprosessiin ja pisteiden käsittelyyn.

1.2 Hypoteesi

Ongelmaa lähdettiin pohtimaan olettamuksen eli hypoteesin kautta, joka esitetään kuvassa 1. Perusidea on tutkia ilmasta ja maasta suoritettavien havainnointimenetelmien yhdistämistä yhdeksi kevyeksi malliksi. Tarkoituksena on tuottaa malli, jossa haluttuja kohteita on tarkennettu resoluution osalta erityyppisillä havainnointimenetelmillä.

Prosessin käyttökohteita voisivat olla muun muassa arkkitehtuuriset suunnitelmat, kaupunkimallit ja tietomallien pohja-aineistot.

Pohjaksi otettiin ilmakuvausaineisto, josta prosessoidaan pistepilvi fotogrammetrian avulla. Ilmakuvauksella saadaan laajoja alueita suhteellisen nopeasti riittävällä laadulla. Kuvauksessa saaduille pisteille tulee myös RGB-arvo, jolloin teksturoidun mallin tuottaminen tästä aineistosta onnistuu helposti. Kuitenkaan eri menetelmien RGB-arvot eivät tule olemaan yhtenäiset, jolloin ennen lopullista kolmiointia prosessoidaan väriarvot kaikille pisteille käyttäen kokoalueen ortokuvaa.



Kuva 1. Hypoteesi.

2 Havainnointitekniikat

Tämän insinööriyön pistepilviaineistot tuotettiin RPAS-laitteella otetuista ilmakuvista sekä maalaserkeilaamalla. Työssä ei ollut mahdollisuutta tuottaa pistepilviaineistoa muilla tavoilla, joten kaksi edellä mainittua valikoituivat aineistonkeruumenetelmiksi. Muut mahdolliset menetelmät, joilla voidaan tuottaa pistepilviä 3D-mallia varten, on esitelty pääpiirteittäin.

Menetelmät, joilla pistepilviaineistoja voidaan kerätä, jaettiin kahteen kategoriaan niiden käyttötarkoitusten mukaan tässä insinööriyössä. Käytettävät kategoriat ovat pohja-aineisto, josta 3D-malli pääosin tuotetaan, sekä tarkennusaineisto, jolla joko tarkennetaan pohja-aineiston puutteita (kuopat, huono aineisto jne.), korostetaan haluttuja kohteita (rakennusten edustat, rappuset, monimutkaiset kohteet) tai tuotetaan pistepilviaineistoa sellaisista kohteista, joita ei pohja-aineistonkeruumenetelmillä saada tuotettua.

2.1 Pohja-aineistot

2.1.1 Ilmakuvaus

Ilmakuvaus on passiivista kaukokartoitusta, jossa mitataan kohteen heijastamaa auringonvalon säteilyä. Ulkoinen valonlähde, auringonvalo, heijastuu kartoitettavasta kohteesta, jonka kamera taltioi. Ilmakuvaus voidaan suorittaa lentokoneella, helikopterilla, miehittämättömällä ilma-aluksella tai satelliitilla. Tavallisimmin satelliittikuvat ovat 500–1000 metrin korkeudesta otettuja. Lentokoneella ja helikopterilla suoritettujen ilmakuvausten lentokorkeus on 500–10 000 metriä. Trafikin määrärajan mukaan [2] RPAS-laitteen suurin sallittu lentokorkeus on 150 m. Pistepilven resoluutio riippuu maastopikselin koosta, joka yleensä on pienempi mitä matalammalta kuvat on otettu. Kuvaukset suoritetaan kuvausjonoina siten, että peräkkäisillä kuvilla on suuri pituuspeitto (n. 70 %) ja vierekkäisillä kuvilla n. 70 %:n sivuttaispeitto. Kuvat voidaan luokitella kallistuksen mukaan pysty- ja viistokuvaan.

Ilmakuvilla pystytään hankkimaan dataa laajalta alueelta nopeasti. Lentokoneilla tai koptereilla pystytään kuvaamaan useita kymmeniä neliökilometrejä lyhyessä ajassa. RPAS-laitteilla on laitteistosta riippuen mahdollista kuvata useita hehtaareita yhdellä

lentosuunnitelmalla. RPAS-laitteilla suoritettavien ilmakehäväläysten etu tavallisiin miehityksillä ilma-aluksilla suoritettaviin ilmakehäväläyksiin on sen edullisuus. RPAS-laitteen hankkiminen ja operoiminen maksaa vain murto-osan verrattuna miehityksillä ilma-aluksilla operoimiseen. Laittevalmistajat ovat viime vuosina tuoneet markkinoille entistä käyttövalmiimpia laitepaketteja, jolloin laitteiden käyttö on helpottunut.

Ilmakehäväläyksen prosessoidun fotopistepilven heikkous on, ettei sen resoluutio ole yhtä suuri kuin laserkeilatun pistepilven. Maastopikselin koko vaikuttaa siihen, miten tarkasti valokuvista prosessoidaan pistepilvi, joten yksityiskohtaisemmat kohteet, kuten katukiveykset, eivät erotu ilmakehäväläyksen prosessoidusta fotopistepilvestä yhtä selkeästi kuin maalaserkeilatusta pistepilvestä. Oikean maanpinnan tulkitseminen ilmakehäväläyksen haasteellista alueilla, joissa on matalaa kasvillisuutta, sillä pistepilvi muodostuu kuvassa näkyvien kohteiden mukaan. Ilmakehäväläyksen vaatii onnistuakseen tasaiset sääolosuhteet ja valoisuuden. Isot kontrastit aikaansaavat prosessoinnissa kohinaa jota pystytään jälkikäsitellyssä korjaamaan. Ilmakehäväläyksen käsillä ei saada kuvattua peitteellisiä kohteita. [3]

2.1.1.1 Pystykuvaus

Valokuva otetaan teoreettisesti kohtisuoraan alaspäin kuvakallistuksen ollessa alle 5 astetta. Kuvakallistuksen ollessa 0 astetta on kyseessä nadiirikuvaus. Pysty kuvista on hankala erottaa rakennusten julkisivuja, siltojen alla olevia osia sekä isojen puiden alla olevaa maastoa. [3; 4; 5; 6.]

2.1.1.2 Viistokuvaus

Matalassa viistokuvauksessa kuvauskulma on alle 45 astetta, ja valokuvassa horisontti rajautuu kuvan ulkopuolelle. Viistokuvissa kuvien resoluutio on paras valokuvassa lähimpänä olevilla kohteilla, ja se muuttuu huonommaksi, mitä kauempana kuvaa kohteet ovat. Viistokuvilla saadaan kuvattua rakennusten julkisivut sekä nähdään sellaisten kohteiden alle, joita ei pysty kuvista näy. Viistokuvat vaativat lentosuunnitelman teossa huolellisempaa suunnittelua kuin pystykuvat. Viistokuvausta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon mahdolliset peitteet, joita aiheutuu korkeista puista tai rakennuksista. Lentolinjojen sijaintia, lentokorkeutta tai kuvauskulmaa muuttamalla voidaan varmistaa haluttujen kohteiden näkyminen kuvassa. Korkeassa viistokuvauksessa kuvauskulma on yli 45 astetta, ja valokuvassa horisontti näkyy

kuvassa. Tämä soveltuu laajojen alueiden visuaaliseen esitykseen paremmin kuin kartoitukseen tai fotopistepilven luomiseen. [3; 4; 5; 6.]

2.1.2 Ilmalaserkeilaus

Ilmalaserkeilausta voidaan suorittaa lentokoneella tai RPAS-laitteella. Ilmalaserkeilauksella saadaan havainnoitua maanpintaa kasvillisuuden peittämiltä alueilta ilmakuvia paremmin. Menetelmällä saadaan aineistoa laajalta alueelta. Laserkeilaus ei ole riippuvainen ulkoisesta valonlähteestä, joten pistepilveen ei tule esimerkiksi varjojen tai kirkkaiden pintojen aiheuttamaa kohinaa. Aineistosta voidaan tulkita maanpinta ja rakennusten katot.

Rakennusten julkisivuja sekä yksityiskohtaisempia kohteita pistepilvestä ei voida erottaa. Ilmalaserkeilausjärjestelmät ovat isoja investointeja, joten niiden hankkiminen vaatii resursseja.

2.2 Tarkennusaineistot

2.2.1 Staattinen keilaus

Kolmijalan päältä suoritettavaa laserkeilausta voidaan käyttää sellaisten kohteiden kartoittamiseen, joita ei ilmasta käsin esimerkiksi peitteellisyyden vuoksi voida havaita. Maalaserkeilaimella tuotettua korkean resoluution tiheää pistepilveä voidaan käyttää yksityiskohtaisempien kohteiden mallintamiseen. Maalaserkeilauksella pystytään kartoittamaan rakennusten julkisivut ja pistepilven pisteille saadaan RGB-arvo, kun skannausten yhteydessä otetaan myös värivalokuvat. Näin rakennusten julkisivuille voidaan tuottaa tekstuurit. Maalaserkeilauksen hyviä puolia ovat suuri resoluutio ja monipuoliset käyttökohteet.

Menetelmän heikkous on sen tuotantonopeuden hitaus. Suurten alueiden osalta datan kerääminen laserkeilaamalla kolmijalan päältä on hitaampaa kuin mobiilisti laserkeilaamalla tai ilmakuvaamalla. Teknologian kehittyessä mittalaitteiden hinnat ovat laskussa; tarkkojen laserkeilainten hinnat ovat silti melko korkeita, mikä tekee laadukkaasta laserkeilaimesta merkittävän investoinnin.

2.2.2 Mobiilikeilaus (auto, reppu, mönkijä, moottorikelkka)

Mobiilikeilausta voidaan hyödyntää liikenneväylien tai rakentamattomien alueiden kartoituksessa. Mobiililaserkeilausta voidaan suorittaa joko autoon, mönkijään tai moottorikelkkaan asennetulla laserkeilausjärjestelmällä tai selässä kannettavalla reppukeilaimella. Autoon asennettavalla laserkeilaimella saadaan laajoja tiealueita, sekä teiden lähiympäristöä kartoitettua nopeasti. Mönkijään tai moottorikelkkaan asennetulla järjestelmällä on mahdollista kartoittaa rakentamattomia alueita, johon ei autolla pääse.

Reppukeilaimella voidaan skannata sellaisia alueita, jonne ei autolla, mönkijällä tai moottorikelkalla voi ajaa tai jotka eivät ole ilmasta havaittavissa. Mobiilikeilausmenetelmillä tuotetuista aineistoista voidaan havaita esimerkiksi reunakivilinjat selkeästi.

2.2.3 Autofotopistepilvi

Fotogrammetrian keinoin tuotettua pistepilveä voidaan tuottaa esimerkiksi autoon tai kiskoilla kulkevaan vaunuun asennettavalla kuvausjärjestelmällä. Sitä voidaan käyttää samankaltaisissa kohteissa kuin mobiililaserkeilainta. [7]

2.2.4 Takymetri

Maastomallia voidaan kartoittaa myös takymetrillä, jolloin pisteitä tulee huomattavasti harvemmin kuin edellä mainituilla tekniikoilla. Takymetrillä kartoittaminen vie huomattavasti enemmän aikaa kuin edellä mainituilla mittaustavoilla. Takymetrillä mitattujen maastomallipisteiden käsittely ei vaadi tietokoneelta juurikaan laskentatehoa toisin kuin isojen pistepilviaineistojen käsittely.

2.3 Referenssiaineistot

Pistepilvien rekisteröintiä varten mitattujen tähysten ja signaaliristien mitattuja koordinaatteja voidaan verrata pistepilvistä erotettaviin kohteisiin. Kontrollipisteinä voidaan käyttää esimerkiksi valokuvilta nähtäviä suojatiemaalauksia, reunakivilinjoja tai kaivonkansia, jotka mitataan joko takymetri- tai satelliittimittauksella.

2.3.1 Kansallisesti saatavilla oleva aineisto

Maanmittauslaitoksen (MML) laserkeilausaineisto on suunnattu yleiseen käyttöön esimerkiksi maastomallien rakentamiseen. Tarkkaan 3D-mallin työstöön aineisto ei sovi, koska pisteiden etäisyys toisistaan on keskimäärin noin 1,2 m, pistetiheys 0,5 pts/m² ja tarkkuus tasossa enintään 60 cm ja korkeudessa 15 cm. Toisaalta aineisto soveltuu hyvin esimerkiksi tässä insinööriyössä esitellyn prosessin pohja-aineistoksi, mikäli huomioidaan, että se on vain visualisointikäyttöön. MML:n tarjoamassa laserpistepilviaineistossa pisteillä ei ole väriarvoa, joten siitä ei pysty ilman käsittelyä muodostamaan teksturoitua mallia. Pistepilviaineistoon voi yhdistää värejä esimerkiksi saman organisaation kuvaamista ilmakuvista. [8]

2.3.2 Kaupunkien aineistot karttapalveluissa

Helsinki Region Infoshare (HRI) -palvelu on Helsingin, Espoon, Vantaan ja Kauniaisten kaupunkien yhteinen avoimen datan palvelu. Palvelusta löytyy pääkaupunkiseudun kaupunkeja ja koko seutua koskevaa tietoa, joka on kaikkien hyödynnettävissä maksutta ja vapaasti.

Saatavilla on Helsingin kaupungin laserkeilausaineistoa LAZ-muodossa. Koko aineiston pistetiheys on 20.0 pts/m² ja maanpintaa kuvaavan aineiston pistetiheys 0,279–0,340 pts/m². Muiden kaupunkien tuottamaa laserkeilausaineistoa ei työn kirjoitushetkellä ole HRI:n palvelusta ilmaiseksi saatavilla.

Helsingin kaupunki tarjoaa ainoana kokonaista kaupunkimallia. Kaupunkimalli on CityMGL-standardissa, ja se sisältää teksturoidut rakennukset enintään LOD2-luokassa ominaisuustietoineen. Lisäksi Helsingistä on saatavilla ortokuvia, joista tuorein on vuodelta 2017.

Espoon kaupunki tarjoaa rakennusten 3D-mallit tarkkuustasolla LOD1 SKP-formaatissa, joka on SketchUp-ohjelmalla aukeava tiedostoformaatti. Rakennuksilla ei ole tekstuuria. Espoon kaupunki tarjoaa myös ortokuvan, joista tuorein on vuodelta 2015.

Vantaan kaupunki on tuottanut rakennusten 3D-mallit tarkkuusluokissa LOD1 sekä LOD2. Tiedostoformaattit, joissa aineisto on saatavilla, ovat CityGML, SKP sekä KML.

Aineistoon on lisätty ilmakuvista katto- sekä seinätekstuurit. Tuorein ilmakuvaus, josta Vantaan kaupunki tarjoaa ortokuvan, on vuodelta 2015.

Aineistojen hyödyntämisessä tulee ottaa huomioon sen julkaisu- sekä päivitysajankohtaa. Jotkut HRI:n aineistot päivittyvät lähes viikoittain, kun taas toiset kerran vuoteen tai harvemmin. [9]

3 Ohjelmistot

3.1 Ohjelmistojen esittely

3.1.1 Yleistä

Työssä käytettiin erilaisia ohjelmistoja sekä suunnittelu- että koetyövaiheessa. Projektin edetessä huomattiin, ettei tarjolla ole montaa sopivaa ohjelmistoa. Yksi syy saattaa olla se, että ohjelmistojen tietorakenne on alun perin suunniteltu käsittelemään vain muutamia kymmeniä tai satoja pisteitä, kun nykyään vaatimukset ovat sadoissa miljoonissa. Ominaisuuksia yritetään laajentaa lisäosilla, mutta lopputulos ei ole aina paras mahdollinen. Ominaisuuksien määrän kasvaessa myös yhteensopivuusongelmat lisääntyvät ja ohjelmistoista tulee todella raskaita.

Ohjelmistoiksi valittiin pääosin pienten toimijoiden kehittämiä sekä joitakin avoimen lähdekoodin sovelluksia. Metropolian hankinnat aiheuttivat jonkin verran rajoitteita ohjelmistojen valinnalle, mutta se ei ollut suuri tekijä tämän koetyön teossa. Keskeisiin sovelluksiin oli jo lisenssi. Valintaa ohjasi myös vapaasti saatavilla olevan ohjeistuksen määrä. Ohjelmaa oli helpompi opiskella, jos saatavilla on selkeitä ja kattavia opetusvideoita ja dokumentteja. Seuraavaksi koetyössä käytettävien ohjelmistojen esittely.

3.1.2 Agisoft Photoscan

Agisoft on venäläinen ohjelmistoyritys, joka on perustettu vuonna 2006. Yritys mainitsee internetsivuillaan päämääräkseen kehittää pienen budjetin sovelluksia teollisuuden ja tavallisten ihmisten käyttöön. [10]

Yrityksen päätuote on Photoscan-niminen kuvaprosessointiohjelmisto. Ohjelman päätehtävä on prosessoida sille syötettävästä valokuva-aineistosta pistepilvi, johon on kehitetty hyvät työkalut. Käyttäjälle on annettu mahdollisuus muokata laajasti erilaisia laskentaparametreja ja käsitellä aineistoa eri näkymissä. Aineistoa voi myös luokitella ja kolmioida. Photoscan tukee yleisesti tunnettuja ja käytettyjä formaatteja laajasti.

Ohjelmistoa kehitetään aktiivisesti, ja tämänkin insinöörityöprosessin aikana ilmestyi kaksi uutta versiota. Photoscanin dokumentaatio on selkeää, ja sen lisäksi yrityksen internetsivuilla on sopivasti esimerkkejä sekä tutoriaaleja ohjelman käytöstä. Ne auttoivat

suuresti myös tämän työn tekemisessä. Lisäksi aktiivinen käyttäjäkunta keskustelee ohjelmaa varten perustetulla keskustelualustalla. Sitä selatessa huomaa myös yrityksen edustajien vastaavan säännöllisesti käyttäjien kysymyksiin.

3.1.3 CloudCompare (CC)

CloudCompare on avoimen lähdekoodin 3D-pistepilvien käsittelyohjelmisto, jota kehitetään nykyään yhteisön voimin vapaassa ohjelmistojen versionhallintaympäristö GitHubissa. Ohjelmiston kehitysprojekti käynnistettiin aikoinaan Pariisissa Telecomin ja EDF:n (Électricité de France) yhteistyönä. Vuodesta 2003 Daniel Girardeau-Montaut on ollut projektin pääasiallinen vetäjä. [11]

CloudComparea käytetään laajasti ympäri maailmaa, joten sen kehitys on ollut nopeaa. Ohjelmaan on rakennettu paljon erilaisia laskenta-algoritmeja, joita voidaan käyttää aineistojen prosessointiin. CloudCompare on alun perin kehitetty vertailemaan kahta pistepilveä tai niistä kolmioituja malleja. Tästä johtuen se pystyy käsittelemään raskaitakin pistepilviaineistoja sujuvasti riippuen saatavilla olevasta laskentatehosta. Ensivaikutelmasta lähtien ohjelman käyttö oli vakaata. Erilaisilla lisäkirjastoilla ohjelmaa pystyy laajentamaan monipuolisesti.

Virallista dokumentaatiota tarjotaan omalla wiki-alustalla, ja sinne on kerätty tietoa kaikista ohjelman toiminnoista pois lukien joidenkin lisäosakirjastojen ohjeistukset. Nykyinen ylläpitäjä vastaa muutamassa päivässä keskustelualueelle lähetettyihin kysymyksiin. Lisäosille löytyy omaa dokumentaatiota niiden kehittäjien omilta internetsivuilta.

3.1.4 Leica Cyclone

Leica Cyclone on sveitsiläisen Leican kehittämä erityisesti laserkeilausaineiston käsittelyohjelmisto [12]. Ohjelmiston päätarkoitus on helpottaa Leican omilla laserkeilaimilla (esim. Leica P30) havainnoidun aineiston käsittelyä. Cyclone on nykyään maailmalla laajasti käytetty pistepilvien käsittelyohjelmisto.

Ohjelma on kehitetty CloudComparen tavoin käsittelemään 3D-pistepilviä. Kun aineisto tuodaan ohjelmaan, se tallennetaan omaan tietokantaan, joka voi sijaita esimerkiksi ulkoisella kovalevyllä tai verkkoasemalla Cyclone Server -ohjelmiston avulla. [13]

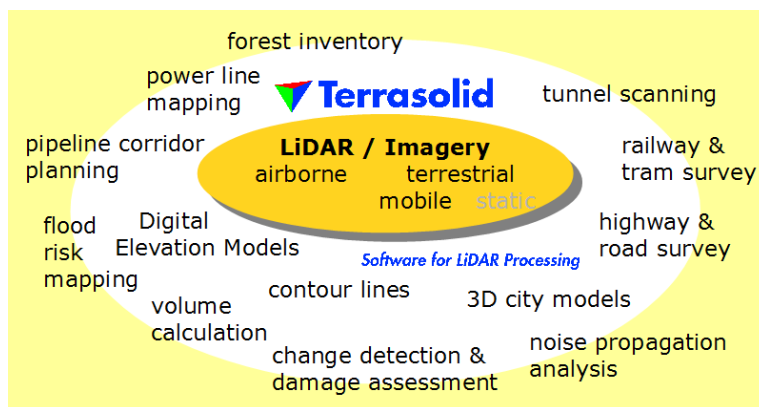
Keilaimelta tallennettua aineistoa on mahdollista rekisteröidä ensiksi monipuolisilla työkaluilla ja sen jälkeen käsitellä lukuisilla eri toiminnoilla. Tarjolla on muun muassa puoli-automaattinen rekisteröintityökalu, joka mahdollistaa eri kojeasemien pisteiden yhdistämisen ja esikäsittelyn. Pisteiden käsittelyä voidaan tehdä helposti limit box -työkalun avulla, jolla voi rajata käsittelyaluetta. Mallinnukseen Cyclonessa on valmiina automaattikkaa, joka etsii pisteiden välisistä suhteista erilaisia geometrisia muotoja. Tuotekuvien perusteella Cyclonea mainostetaan monimutkaisten teollisuuslaitosten mallinnukseen sopivaksi, mutta ohjelmalla pystyy tekemään myös laajoja inframalleja.

3.1.5 Terrasolid-ohjelmisto

Terrasolid-ohjelmisto on suomalaisen Terrasolid-yrityksen kehittämä sovellusperhe, joka tarjoaa työkaluja pistepilvien käsittelyyn. Yritys on perustettu vuonna 1989, jolloin laserkeilaus oli vasta alkanut kehittyä. Nykyään yrityksellä on noin kymmenen työntekijää, ja sen tuotteita käytetään noin 100 eri maassa. [14]

Terrasolidin päätuotteita ovat Terrascan (laserkeilausaineiston käsittely), TerraMatch (lentolinjojen sovitus), TerraModeler (kolmiointi) ja TerraPhoto (kuvien käsittely). Kuvassa 2 näkyy minkälaisiin toimintoihin yhtiön tarjoamat tuotteet sopivat. Muun muassa näiden palveluiden avulla yhtiö on maailman johtava ohjelmistojen tuottaja omalla liiketoiminta-alueellaan.

Ohjelmat vaativat toimiakseen Bentley'n kehittämän Microstation CAD -suunnitteluohjelmiston, jossa ne pyörivät lisäosina varsinaisen ohjelman päällä. Nämä yhdessä luovat tehokkaan paketin kaikenlaiseen mallintamiseen.



Kuva 2. Terrasolid-ohjelmistot [15].

3.2 Pistepilviformaatit

3.2.1 Yleistä

Maanmittaustekniikassa formaatit voidaan jakaa karkeasti sisäisesti käytettäviin ja siirtoformaatteihin. Näiden kahden ero on siinä, että siirtoformaatit ovat yleisesti sovittuja tai kansainvälisiä standardeja, jolloin yhteensopivuus eri ohjelmistojen välillä on hyvä. Sisäisiin formaatteihin kuuluvat ohjelmien tietorakenteessa käytettävät formaatit. Tehokkaan ja sujuvan käytön takaamiseksi siirtoformaatti käännetään sisäänlukuprosessissa sisäiseen formaattiin.

Toinen karkea jaottelu voidaan tehdä formaatin muodon avulla eli tallennetaanko formaattiin tietoa binääri- vai tekstimuotoisena. Suurissa aineistoissa käytetään binäärimuotoa, koska se on nopeampaa lukea ja kirjoittaa. Tekstimuodossa ohjelmisto suorittaa aina käänösprosessin, mikä hidastaa lukemista. [16]

3.2.2 Siirtoformaatteja

LAS / LAZ

LAS on American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) -organisaation alkujaan kehittämä, laajasti käytetty pistepilviformaatti. 3D-aineistojen siirtoon tarkoitettu formaatti kykenee tallentamaan myös erilaisia attribuutteja formaattiversiosta riippuen. LAS kehitettiin vastaamaan tarpeeseen, jossa eri valmistajien ohjelmistot ja formaatit eivät keskustelleen keskenään. Lisäksi tekstimuotoiset formaatit hidastuvat merkittävästi suuria pistepilviä käsitellessä, ja niiden tiedostokoko kasvaa. LAS-formaattia tukevat nykyään kaikki modernit pistepilven käsittelyohjelmistot, sillä se on onnistunut tekemään tietorakenteesta selkeän. LAZ on pakattu versio LAS-formaatista. [17]

E57

American Society for Testing and Materials (ASTM) standardisoima siirtoformaatti, joka yhdistelee binääri- sekä xml-muotoista dataa. Formaatin on kehittänyt ASTM:n yksi sisäisistä komiteoista nimeltä Data Interoperability, joka tarkoittaa tietojen yhteensopivuutta. Avoimen lähdekoodin toteutus ASTM E57 -standardista nimeltä LibE57.org kertoo verkkosivuillaan E57- ja LAS-formaattien erosta. [18] Sivuston mukaan LAS-

formaatti on kehitetty palvelemaan ensisijaisesti LiDAR-aineistoja ja kaikenlaista havainnointia ilmasta. E57 taas pyrkii olemaan yleisformaatti, jota pystyy skaalaamaan helposti eri tarpeisiin, mutta silti samat keskeiset tietorakenteet säilyvät. [19] LibE57-yhteisö listaa myös useita ohjelmia, joihin on rakennettu formaatin natiivituki. Natiivituki tarkoittaa tässä yhteydessä sitä, että ohjelman koodiin on sisäänrakennettu tarkasteltavalle formaatille. Muun muassa tässä tutkimuksessa käytettävät CloudCompare ja Leica Cyclone tukevat E57-formaattia.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<e57Root type="Structure" xmlns="http://www.astm.org/COMMIT/E57/2010-
e57-v1.0">
  <formatName type="String"><![CDATA[ASTM E57 3D Imaging Data
File]]></formatName>
  <guid type="String"><![CDATA[{56D8F874-3656-4CA8-BA17-
8BF9757063D0}]]></guid>
  <versionMajor type="Integer">1</versionMajor>
  <versionMinor type="Integer"/>
  <e57LibraryVersion type="String"><![CDATA[InteliSum-LD3-Studio-V5.1-
E57RefImpl-0.3.173-x86-windows]]></e57LibraryVersion>
  <coordinateMetadata type="String"/>
  <creationDateTime type="Structure">
    <dateTimeValue type="Float">9.6758299097398019e+008</dateTime-
Value>
    <isAtomicClockReferenced type="Integer"/>
  </creationDateTime>
  \
  \
  \
  \
</e57Root>
```

[Esimerkkikoodi 1. E57-formaatin XML-koodi \[20\].](#)

XYZ

XYZ on maanmittaustekniikassa yleisesti käytetty formaattimuoto. Tästä formaatista on olemassa paljon erilaisia variaatioita, mutta perinteisin on ASCII-muotoinen XYZ-koordinaattilistaus. Formaattissa ei ole mukana ominaisuustietoja, joten se sopii vain pelkkien koordinaattien siirtoon. Lisäksi suuri määrä pisteitä aiheuttaa merkittävää hidastumista luku- ja kirjoitusprosessissa. Taulukossa 1 on kuvattu XYZ-formaatista yksinkertaisin muoto.

Taulukko 1. Esimerkki XYZ-formaatista [21].

X	Y	Z
-0.007305	0.479848	-1.825868
-0.071243	0.478286	-1.821239
-0.070341	0.478542	-1.822264

3.2.3 Sisäisiä formaatteja

BIN

BIN on yleisnimitys binäärimuotoiselle formaatille. Muun muassa CloudCompare tallentaa ohjelman sisäiset tallennukset tähän formaattiin. Yleensä bin-pääte tarkoittaa binäärimuotoista tiedostoa, jota voi lukea vain tiedoston muodostanut ohjelma. [22]

FBI

FBI on Terrasolidin kehittämä fast binary -formaatti. Kehittäjä suosittelee tätä formaattia käytettäväksi pistepilvien prosessoinnin ajan. [23]

PTS ja PTX

PTS ja PTX ovat Leican kehittämiä laserpistepilven käsittelyformaatteja. PTX on pakattu versio PTS-formaatista. Intensiteetin ja väriarvojen tallentaminen koordinaattitiedon lisäksi ovat vahvuuksia verrattuna esimerkiksi XYZ-formaattiin. PTS-formaatille on myös helppo tehdä muuntimia. Heikkous on tekstimuotoisuus, joka vie enemmän prosessointitehoa kuin binäärimuotoinen formaatti. Taulukossa 2 on esimerkki PTS-formaatista.

Taulukko 2. Esimerkki PTS-koodista [24].

Number of points / X	Y	Z	Intensity value	R	G	B
342684						
4.246445	-6.42662	-50.214615	-399	66	50	83
-9.318283	-6.014053	-51.129257	-437	132	141	152
-4.043655	-14.000992	-65.560776	-332	69	61	85

4 3D-mallin perusteet

Tässä jaksossa on esitelty lyhyesti, mitä 3D-malli sisältää ja mitä erilaisia säädöksiä Suomessa on kehitetty tähän liittyen. Tässä työssä keskitytään inframalleihin. Nykyään tietomallien vallatessa alaa perinteiseen malliin tulee paljon lisää informaatiota, mutta perusteita ne eivät laita uusiksi.

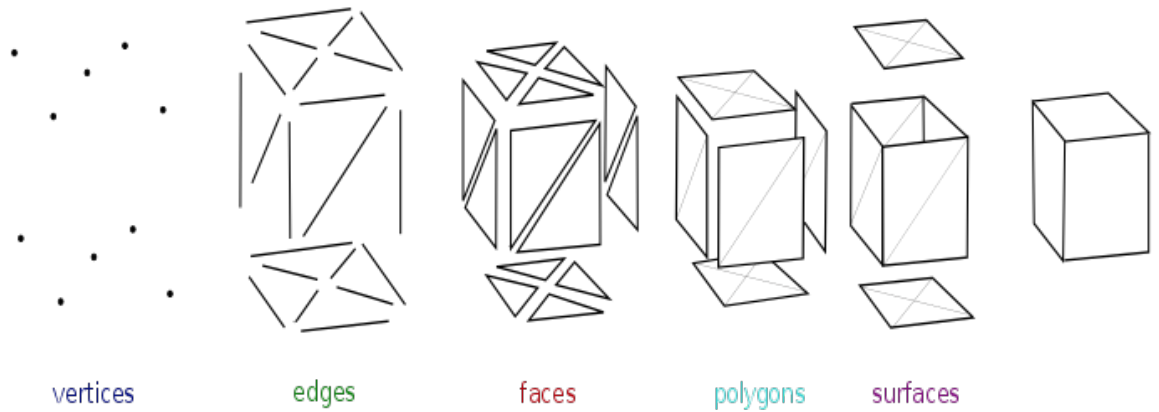
Suomessa mallinnusta koskevien ohjeistusten päämäärä on yhtenäistää tapoja ja termistöä sekä auttaa näin eri osapuolten välistä kommunikointia. Maailmalla kansainväliset organisaatiot, esimerkiksi Open Geospatial Consortium (OGC), ASTM International ja Web3D Consortium, ovat kehittäneet standardeja ja käytäntöjä yhtenäistämään mallinnusta.

4.1 Mikä on 3D-malli?

3D-malli on matemaattisen prosessin tulos jostain fyysisestä kohteesta. Käyttökohteita sille on paljon. Peli- ja elokuvateollisuus luovat mallinnuksen avulla virtuaalitodellisuuksia, terveysteknologiat hyödyntävät mallinnusta lääkkeiden ja elimistön kuvantamisessa ja esimerkiksi markkinointia kehitetään houkuttelevammaksi aidomman näköisillä tuotekuvilla. [25] Edellä mainitut käyttötarkoitukset ovat olleet olemassa jo pitkään, ja uusia tapoja hyödyntää mallinnusta tulee jatkuvasti lisää. Maanmittaustekniikassa yksi tapa hyödyntää 3D-mallinnusta on kaupunki- ja tietomallit. Kaupunkimallit ovat kaupunkien ja kuntien ylläpitämiä kolmiulotteisia malleja, joihin voidaan ohjelmoida tietoa eri kohteista riippuen halutusta lopputuloksesta. [26] Yhä enemmän ne ovat kaupungin topografisia tietokantoja, eli semanttisia kaupunkimalleja [27]. Tietomalleja käytetään rakentamisessa ja erilaisten kohteiden ylläpidossa. Niiden tarkoitus on kerätä kohteesta mallinnettuihin objekteihin kaikki tarvittava tieto.

3D-mallit jaetaan kahteen kategoriaan esitystavan ja laskennan mukaan: kappalepohjainen- (solid/volume) ja pintamalli (surface). Kappalepohjaisessa mallinnuksessa kohteet esitetään erilaisina massoina, joita tarvitaan esimerkiksi lääketieteessä, teollisuudessa ja muissa suurta tarkkuutta vaativissa sovelluksissa. Pintamallissa kappaleesta esitetään vain ”kuori” ja sen tarvittavat yksityiskohdat, jolloin varsinaista sisusta ei täytetä. Esimerkiksi kaupunkimallit ja muut ympäristöä kuvaavat mallit ovat pintamalleja.

Pistepilvestä muodostettua pintamallia kutsutaan nimellä mesh-model (verkko). Kuvan 3 mukaan verkko eli mesh sisältää nurkkia (vertices), särmiä (edges), tahoja (facets), polygoneja (polygons) ja pintoja (surfaces). Nämä yhdessä muodostavat halutun muotoisen mallin. [28]



Kuva 3. Mesh koostumus [29].

On myös erilaisia keinoja mitata mallia. Yleisimmät näistä ovat tarkkuus ja resoluutio. Mallin tarkkuus tarkoittaa sitä, kuinka paljon pisteet poikkeavat todellisesta. Resoluutio taas kertoo, kuinka monta pistettä mallissa on neliömetrillä. Kuvassa 4 esitetään pistetiheyden mukaan yksi tapa, miten malleja voidaan luokitella. Sen laatinut Felix Rohrba on määrittellyt hänen mukaansa yleisimmät käytetyt tiheydet taulukkomuotoon. Pistetiheys eli resoluutio on Rohrban mukaan yksi tärkeimmistä mittareista, kun määritellään pistepilviä. [30] Tiheyden mukaan voidaan myös arvioida projektin kustannuksia, sillä tarkempi aineisto maksaa yleensä enemmän kuin epätarkempi.

Point Density	0.5-1 pts/m ²	1-2 pts/m ²	2-5 pts/m ²	5-10 pts/m ²	10+ pts/m ²
Application	<ul style="list-style-type: none"> Basic Surface Model Forest Inventory 	<ul style="list-style-type: none"> Flood Modelling Dam and Water Inundation Calculations 	<ul style="list-style-type: none"> Multi-purpose data sets 	<ul style="list-style-type: none"> Basic 3D models 	<ul style="list-style-type: none"> Detailed 3D city models

Kuva 4. Pistetiheys ja mallin resoluutio [31].

4.2 3D-mallin formaatit

Mallinnuksen formaatit voidaan karkeasti jakaa sisäisiin formaatteihin ja siirtoformaatteihin. Näiden kahden ero on siinä, miten formaattia käytetään. Siirtoformaateilla siirretään aineistoa, minkä vuoksi niiden tietorakenne on yleensä hyvin pakattu ja ne ovat yhteensopivia monen eri ohjelmiston välillä. Ominaista on myös, ettei useimmat käytettävät ohjelmistot pysty hyödyntämään näitä formaatteja suoraan, vaan ne muunnetaan binäärimuotoisiksi sisäisiksi formaateiksi. Tällöin ohjelmisto toimii tehokkaammin.

Tässä työssä käytettäviä siirtoformaatteja olivat Wavefront Technologiesin kehittämä OBJ ja Autodeskin kehittämä FBX. Molempiin pystytään tallentamaan tietoa tekstimuodossa, mikä on yleistä aineiston siirtoon tarkoitetuille formaateille. Tekstimuotoiselle formaatille on myös helpompaa tehdä muunnos sisäiseen formaattiin, sillä niiden sisältämaa tietoa pystyy lukemaan selkokielellisesti. FBX-muoto on Autodeskin eri tuotteille soveltuva siirtoformaatti, mutta sitä käytetään myös muihin sovelluksiin. OBJ-muodossa jaetaan esimerkiksi Helsingin kaupungin kolmiulotteinen aineisto.

Yksi keino vähentää yhteensopivuusongelmia ja käytettävien formaattien lukumäärää olisi standardisoida tekniikoita ja toimintatapoja. Tätä tehdään, mutta hidastandardointiprosessi ei ole pystynyt vastaamaan tekniikoiden kehitysnopeuteen. Prosessin aikana tarpeet saattavat muuttua, jolloin standardoinnissa ei pystytä täysin vastaamaan viime hetken muutoksiin. [32]

4.3 Mikä on LOD?

LOD (Level Of Detail) tarkoittaa mallin resoluutioluokittelua. Peliteollisuus on käyttänyt LOD-luokittelua vähentämään kolmioiden määrää kohteista, joita ei ole oleellista näyttää pelaajalle tarkasti. Luonnollisesti tällä simuloidaan ihmisen näköä, jolloin kauempana olevat kohteet näkyvät suuripiirteisemmin kuin lähempänä olevat. Tietokoneiden kehityksen alussa grafiikkaprosessointitehoa on ollut käytettävissä rajallisesti, jolloin LOD on auttanut myös käytettävyyden optimoinnissa. Nykyään pelikoneiksi tarkoitettut laitteet ovat paljon tehokkaampia, joten peliympäristöstä voidaan tehdä tarkempaa ja yksityiskohtaisempaa, mutta vieläkin LOD on laajasti käytössä. [33]

LOD-luokittelua käytetään myös muuhun 3D-mallintamiseen. Esimerkiksi kaupunkimallit käyttävät LOD-luokittelua kuvaamaan kuinka paljon informaatiota on mallinnettu. Kuitenkin LOD-luokitteluksi tunnistetaan parhaiten neliportainen asteikko: LOD1 on massamalli, LOD2 rakenteellinen kuorimalli, LOD3 tyypillinen mittausmalli ja LOD4 yksityiskohdainen malli. Tämän jaottelun pohjalta James Still on onnistunut luomaan hyvän esimerkimallin [34]. Kaupunkimallit Helsingillä, Espoolla ja Vantaalla ovat kirjoitushetkellä LOD2-luokassa, joka tarkoittaa käytännössä kattojen yksityiskohtien mallintamista.

4.4 3D-mallinnuksen vaatimukset ja luotettavuus

3D-mallinnuksen lähtökohta on tarjota mahdollisimman todenmukainen tietokonemalli halutusta kohteesta. Tähän tarkoitukseen on kehitetty erilaisia mittareita, joita yksi on edellisessä kappaleessa mainittu LOD-luokittelu. Mallintamisen yleistyessä on jouduttu laatimaan ohjeistuksia, jotta malleista tulisi yhteensopivia keskenään.

Tietomalleihin siirryttäessä on myös ollut pakko määritellä joitain reunaehtoja siihen, miten malleja tuotetaan ja miten laadunvarmistus toimii. Suomessa Liikennevirasto on ollut aktiivinen tämän suhteen ja laatinut viimeisimmän aiheeseen liittyvän ohjeistuksen 12/2017, jossa annetaan useita suosituksia käytännön työtavoiksi. [35]

Pääkohtia ohjeessa ovat mittausperustan hyvä luotettavuus, toimiva aikataulu ja jatkuva laadunvarmistus. Mallinnuksen pitää pohjautua luotettavaan ja tarkkaan aineistoon, jotta lopputulokseenkin voidaan luottaa. Kokonaisprosessin aikataulutus pitää laatia tarpeeksi joustavasti, jotta virheiltä vältytään. Niiden korjaaminen prosessin loppuvaiheessa on työlästä ja kallista. Lisäksi hyvä laadunvarmistus takaa sen, että lopputulokseen voidaan luottaa.

Toinen Suomessa aktiivinen toimija on BuildingSMART Finland -yhteisö, jolla on tietomalleihin perustuvat ohjeistukset kaikenlaiseen rakentamiseen. He ovat laatineet Liikennevirastoa kattavamman ohjeistuksen, joka valmistui vuonna 2016. [36]

Yhteinen tekijä molempien tahojen ohjeistuksissa on, että mallinnus riippuu projektin suunnittelusta, luonteesta ja kohteesta. Jokaisella projektilla on sopimuskohtaiset tarkkuus- ja resoluutiovaatimukset.

5 Tiedonhankinta

Tiedonhankinta oli melko haastavaa, sillä aihe on uusi ja ala suhteellisen pieni. Kirjallisuus vanhenee todella nopeasti, ja pääasiassa saatavilla oli vain mittaustekniikoihin liittyviä aiheita. Internet on tuonut erilaiset keskustelupalstat ja tieteellisten tutkimusten julkaisut käyttöön, joihin nykypäivänä yhä suurempi tieto keskittyy.

Insinööriyön tietolähteitä olivat keskustelupalstat, opinnäytetyöt ja diplomityöt sekä julkisia tutkimuksia ja ohjeistuksia. Lisäksi neuvoja ja ohjeita kysyttiin suoraan ohjelmien kehittäjiltä ja yhteisöiltä. Suurin osa vartenotettavasta materiaalista oli englanniksi. Vain ohjeistuksia ja muuta yleistä tietoa löytyi suomeksi.

Erityisesti laserkeilaukseen ja pistepilvien käsittelyyn keskittynyt Laserscanning forum tarjosi paljon käyttäjien omakohtaisia kokemuksia ja harmaata tietoa, jota ei kirjoista tai tutkimuksista löydy. Sivuston käyttäjät ovat pääosin maanmittausalan parissa toimivia henkilöitä, jotka esiintyvät omilla nimillään ja edustavat omia yrityksiään.

Ilmakuvien prosessointiin liittyviin kysymyksiin vastasi Photoscanin foorumilla ohjelman käyttäjät mutta myös itse ohjelmiston kehittäjä.

CloudComparella on oma yhteisöwiki, josta löytyy erittäin paljon ohjeita ja päivitettyä tietoa ohjelmasta. CloudCompare forum oli yhtä lailla suurena apuna juuri ongelmia ja ohjelmistovirheitä kohdatessa. Foorumilla kysymyksiin vastasi ohjelmiston kehittäjä, joka teki ohjelmistopäivityksiä erittäin nopeasti ohjelmistovirheiden esiintyessä.

Keskustelupalstoilta saatuun tietoon tulee suhtautua kriittisyydellä, sillä joskus tieto saattoi olla jo vanhentunutta johtuen jo tulleista ohjelmistopäivityksistä.

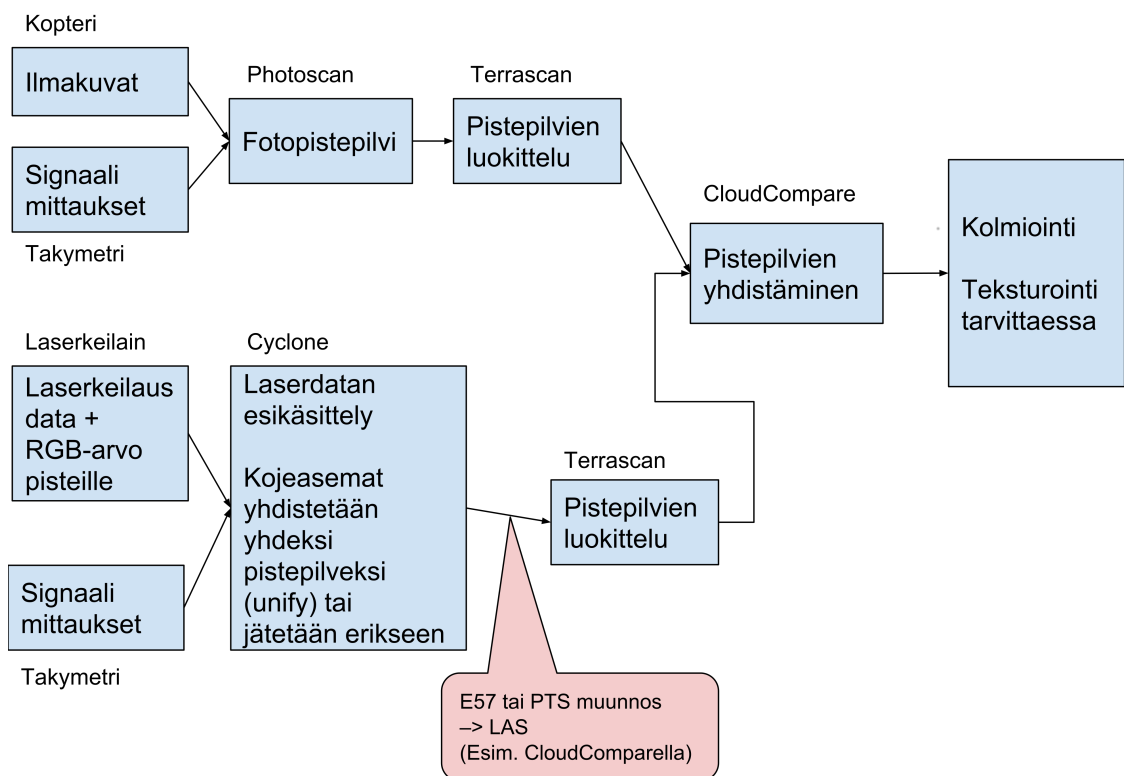
Lisää ajatuksia 3D-mallintamisen tulevaisuudesta ja siitä, miten se kehittyy Suomessa, tuli rakennus- ja maanmittausalan ammattilaisilta, tietomalliasiantuntijoilta, virkamiehiltä sekä ohjelmistokehittäjiltä Diginfra 2018 -seminaarissa.

6 Koetyö – Karamalmin kampusalue

6.1 Johdanto

Koetyön prosessikaavio näkyy kuvassa 5. Tarkoituksena oli tehdä mahdollisimman nopea ja kevyt mutta tarkka menetelmä, jolla teksturoitua mallia voidaan tuottaa. Kevyt tarkoittaa tässä tapauksessa sitä, että mallissa on mahdollisimman vähän tahoja, minkä ansiosta mallin käsitteleminen nopeutuu.

Aineiston keräyksen jälkeen siitä prosessoitiin erilliset pistepilvet. Pisteet luokiteltiin karkeasti eri luokkiin ja tämän jälkeen ne yhdistettiin niin, että tarkennusaineistoja käytettiin paikkaamaan fotopistepilvestä poistettavia huonoja kohtia. Yhdistämisvaiheessa tehtiin myös erilaisia optimointeja. Lopuksi aineisto kolmioitiin.



Kuva 5. Prosessikaavio.

6.2 Pohja-aineiston kerääminen

Pohja-aineistoksi ilmakuvattiin Karamalmin kampusalue. Työtä varten käytettiin vain Ka-reportilta ja sen lähiympäristöstä saatua aineistoa. Kopterina käytettiin Metropolian omistamaa Camflight FX8 -kopteria ja kamerana Sony Alpha 7R sekä 35 mm linssiä. Kuvassa 6 näytetään koko alueen ilmakuvattu ala.

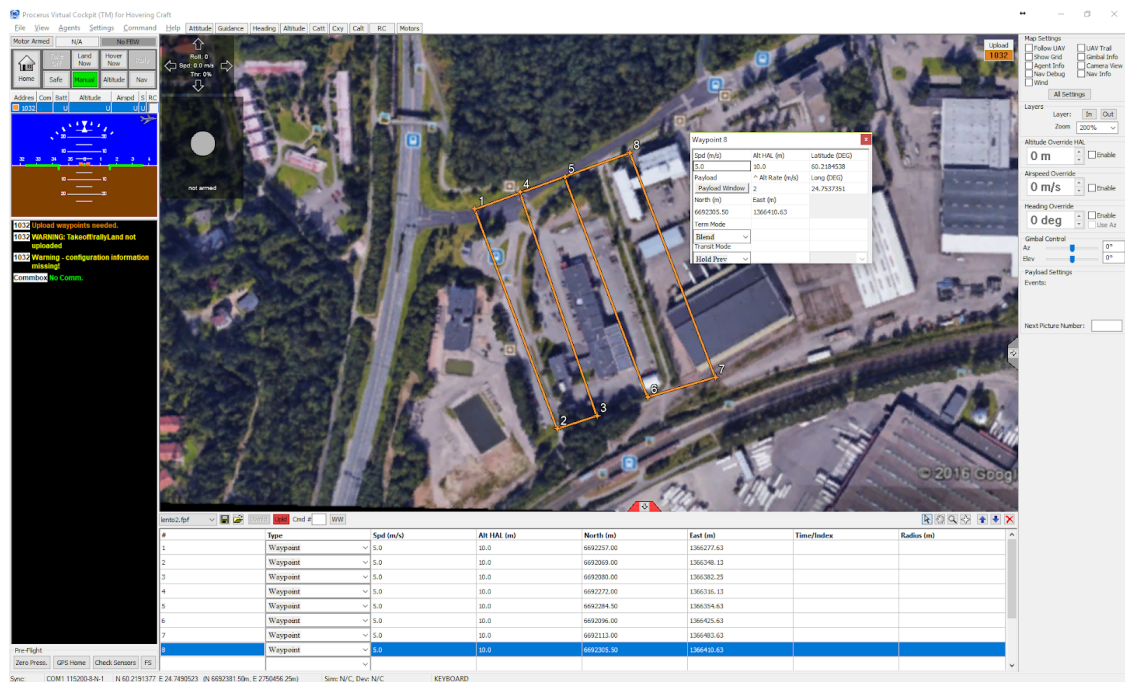


Kuva 6. Ilmakuvattu alue.

Lentosuunnitelma

Lentosuunnitelma laadittiin Virtual Cockpit (versio 2) -ohjelmalla (kuva 7). Sovellus on suunniteltu Lockheed Martinin valmistamaa Kestrel-autopilottia varten. [37] Suunnitelmaan kuului pystykuvia 90 asteen kulmasta sekä viistokuvia 60 asteen kulmasta. Viistokuvien avulla tutkittiin, saisiko talojen seiniin verrattavia kohteita paremmin havainnoitua. Tarkoituksena oli saada mahdollisimman hyvä aineisto ajoradoilta. Tällöin muun muassa reunakiveykset erottuisivat selkeämmin.

Ilmakuvausta varten tehtiin kaksi lentosuunnitelmaa, yhden pystykuvilla ja yhden viistokuvilla. Viistokuvien lentosuunnitelma toteutettiin yksittäisten waypoint-pisteiden avulla ja pystykuvat area waypoint -ruudukolla.



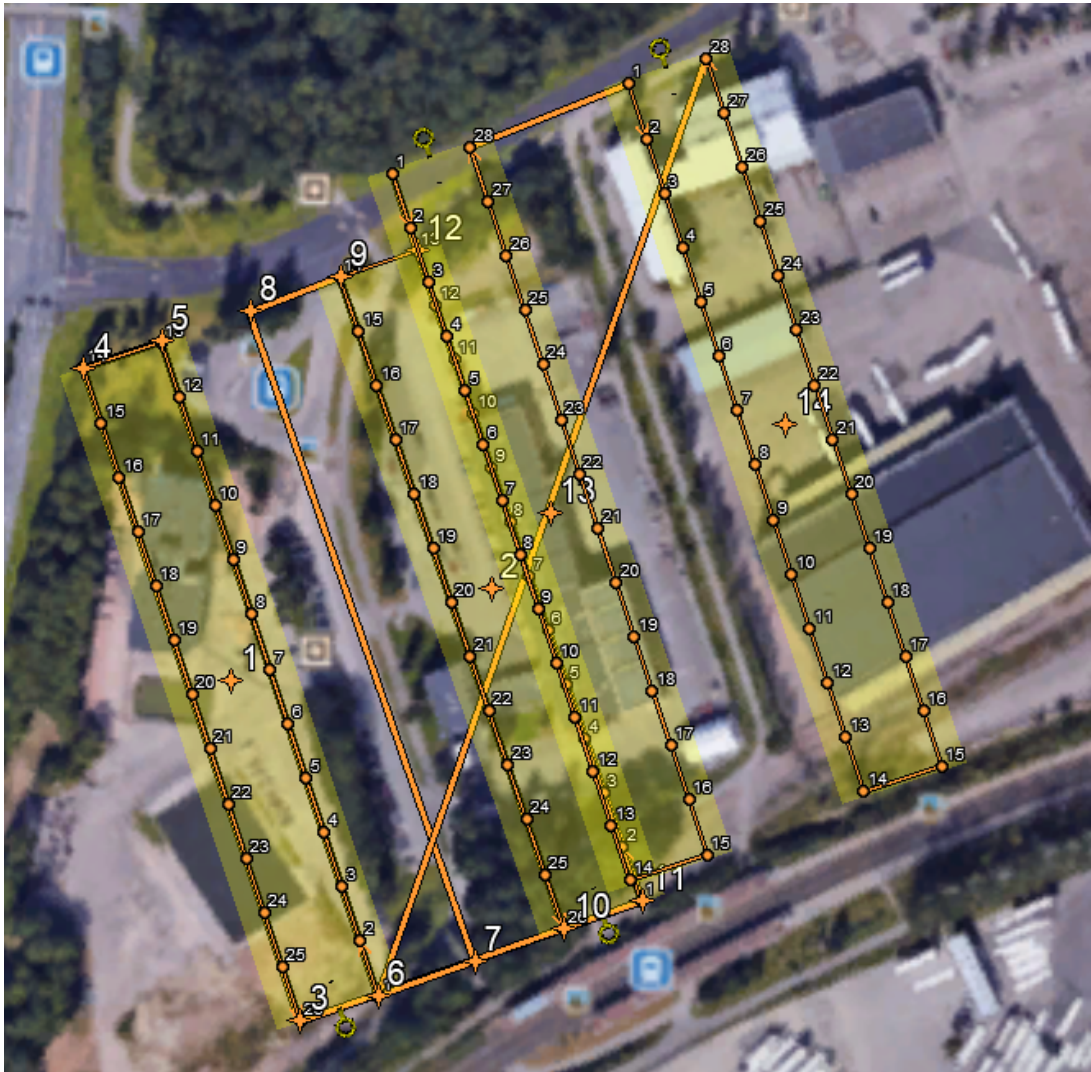
Kuva 7. Ruutukaappaus Virtual Cockpitista. Esimerkkikuva ohjelmanäkymästä.

Area Waypoint

Area Waypoint -tekniikkaa (kuva 8) käytettäessä ohjelma laskee valmiit lentoradat ja kuvanottoaikat. Ruudukko asetellaan Google Earthista saatavan satelliittikuvan päälle ja lentosuunnitelman parametrit säädetään siten, että kopterin gimbaali eli kameravakain pitää kameran kohtisuoraan alaspäin lennon aikana. Tässä menetelmässä ohjelma laskee kuvanottoaikat annetun lentonopeuden, pituus- sekä leveyspeiton ja

lentokorkeuden mukaan. Lähtötietoina ohjelmaan syötetään lisäksi käytetyn kameran tiedot ja sen kuvausparametrit.

Kopterin toimittajan (Camflight AS) suosituksesta käytettiin 70 %:n pituuspeittoa, 70 %:n leveyspeittoa, 120 m:n lentokorkeutta sekä lentonopeutta 5 m/s.



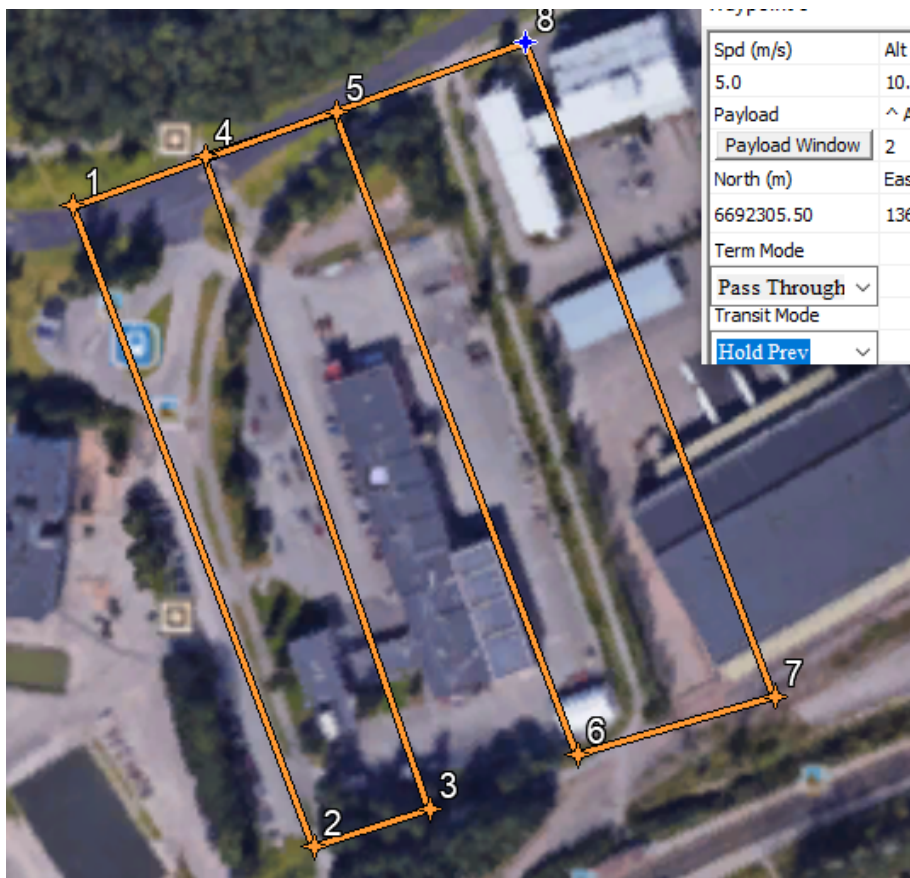
Kuva 8. Esimerkkikuva areawaypoint-ruudukosta.

Waypoint-pisteet

Yksittäisiä waypoint-pisteitä (kuva 9) käytettäessä satelliittikuvan päälle sijoitetaan pisteitä, joiden kautta lennokka lentää. Pisteille voidaan antaa erilaisia parametreja, jotka vaikuttavat lennokin käyttäytymiseen kyseisellä pisteellä. Tässä lentosuunnitelmassa annettiin ”Term Mode” -parametriksi ”pass through”, koska lennokin haluttiin vain

lentävän pisteiden kautta, eikä esimerkiksi jäävän kyseiselle pisteelle paikalleen muutama sekunnin ajaksi.

Yksittäisiä waypointeja käytettäessä kuvanottoaikoja ei ollut määritelty lentosuunnitelmaan, kuten area waypointeja käytettäessä. Kuvien ottaminen oli tästä syystä käynnistettävä manuaalisesti sen jälkeen, kun kopterille oli annettu käsky lentää lentosuunnitelma. Käytettävissä olevalla kameralla sekä valituilla asetuksilla kuvanottoväliksi valittiin kolme sekuntia. Lisäksi suunnitelmaan annetut parametrit eivät vaikuttaneet käytettävissä olevaan gimbaaliin, joten paras vaihtoehto oli tehdä säädöt käsin lennon aikana.



Kuva 9. Esimerkki waypoint-pisteistä.

Havaintojen perusteella pystykuville paras tapa oli käyttää area waypoint -ruudukkoa ja viistokuville yksittäisiä waypoint-pisteitä manuaalisella kuvanotto-ohjauksella lennon aikana. Kuvauskulma viistokuville oli 60 astetta kumpaankin suuntaan.

Signaalien rakentaminen ja kartoitus

Ilmakuvat orientoitiin maahan rakennettavien signaaleiden perusteella. Osa signaaleista maalattiin Espoon kaupungilta saatujen käyttökiintopisteiden päälle (kuva 10) ja loput maalattiin sopiviin kohtiin (kuva 11) sekä kartoitettiin satelliittimittauksella. Signaalit mitattiin satelliittimittauksella kolmella eri alustuksella, joiden pohjalta otettiin keskiarvo. Signaaleiden tiedot kerättiin tekstimuotoon.



Kuva 10. Espoon kaupungin kiintopiste ilman signaalia.



Kuva 11. Ilmakuvaussignaali.

Lentotilanne

Lentosuunnitelman ja signaaleiden merkinnän jälkeen etsittiin sopiva nousu- ja laskeutumispaikka kopterille. Nousu- ja laskeutumispaikaksi kannattaa valita mahdollisimman avoin paikka, jotta kopteria on helpompi ja turvallisempi lennättää. Kohdealueella oli paljon rakennuksia, joten hyväksi tukikohdaksi valittiin laajahko parkkipaikka. Paikan valintaan vaikuttaa Trafin määräys ”*Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin lennättäminen*”, jonka mukaan lennättäjällä on oltava suora näköyhteys kopteriin koko lennon ajan. [38]

Lentosää vaikuttaa kopterin toimivuuteen, joten päivä kannattaa valita huolellisesti. Kopteria ei voi lennättää, jos tuulee tai sataa liikaa. Paras sää ilmakuvauksen kannalta on yhtenäinen pilviverho, jonka läpi aurinko paistaa. Näin maanpinnalla on mahdollisimman tasainen valo ja ilmakuvista tulee tasalaatuisia ja selkeitä. Auringonpaisteesta johtuvat varjot aiheuttavat kuvien prosessoinnissa ongelmia, jolloin alueesta saattaa tulla käyttökelvoton.

Ennen nousua suoritettiin tekniset valmistelut. Niihin kuului kopterin akkujen ja siipien kiinnittäminen, sekä käynnistäminen ja turvallisuustestit. Turvallisuustesteihin kuului muun muassa kopterin kunnan tarkistaminen silmämääräisesti sekä yhteyksien ja las-kuvarjon avausmekanismin tarkistaminen. Luotettavan yhteyden varmistamiseksi kopteria oli mahdollisuus ohjata sekä erikseen tehdyllä kauko-ohjaimella että tietokoneella Virtual Cockpit -ohjelmalla. Lentosuunnitelma ladattiin tietokoneelta kopterin muistiin.

Valmistelujen jälkeen lennettiin ensin kaksi noin 25 minuutin lentoa, joiden välissä vaihdettiin akkusarja. Toisena päivänä lensimme loput suunnitelmasta yhdellä lennolla. Nousut ja laskut tehtiin manuaalisesti kauko-ohjaimella ja sen jälkeen autopilottia käskettiin suorittamaan lentosuunnitelma. Lennon ajan kopteria seurattiin katseella.

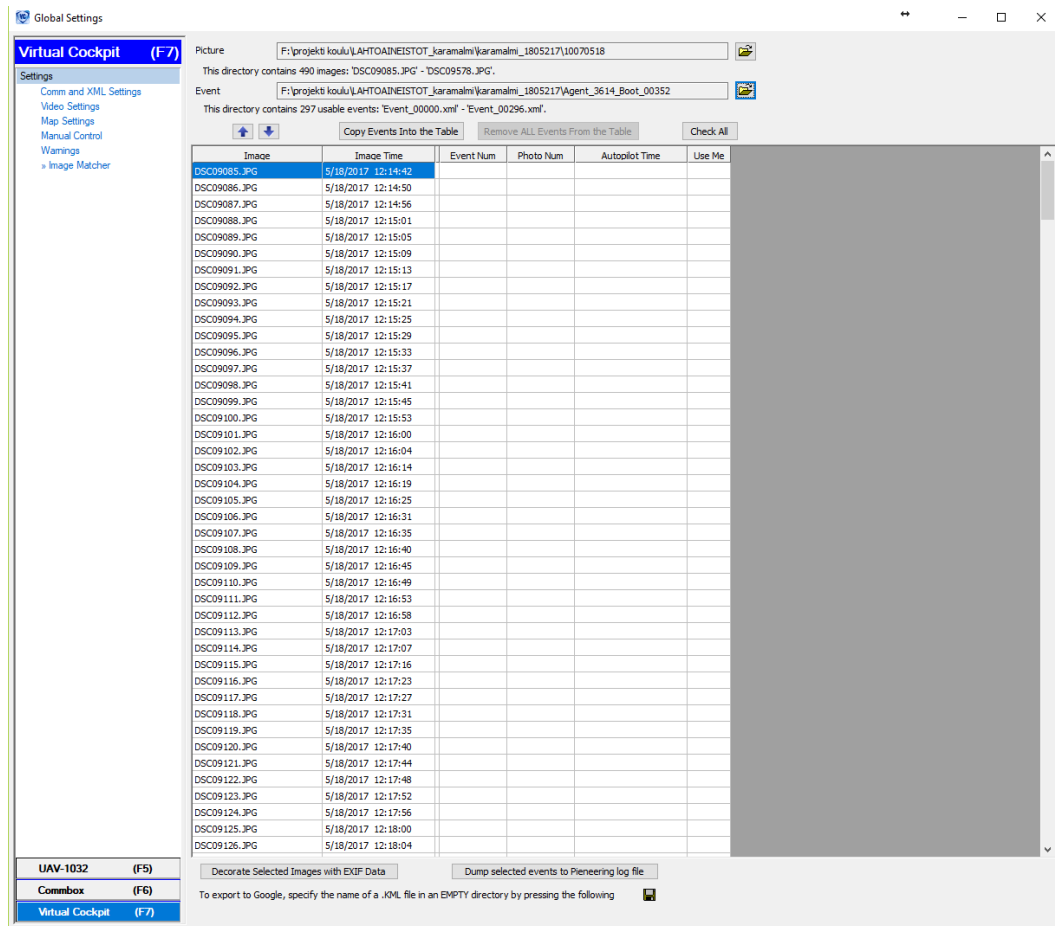
6.3 Pohja-aineiston prosessointi

Ilmakuvatun aineiston prosessointiin käytettiin Agisoft Photoscan (versio 2.9.1) -ohjelmistoa. Sen avulla tuotettiin yhtenäinen pistepilvi LAS-formaatissa sekä ortokuva teksturointia varten. Fotopistepilvi sisälsi koordinaattien lisäksi RGB-arvon jokaiselle pisteelle.

Ennen kuvien viemistä kuvaprosessointiohjelmaan kuvien metatietoihin lisättiin kopterista saadut parametrit (kuva 12). Parametreja olivat kuvanotto ID, kuvan numero, autopilotin aikaleima ja karkeat koordinaatit kuvanottohetkeltä. Yhdistäminen tehtiin Virtual Cockpit -ohjelman lisäosalla Image Matcher.

Prosessoinnissa noudatettiin ohjelmiston valmistajan omaa ohjeistusta, joka löytyi heidän internetsivuiltaan. [39]

Kuvassa 13 näkyivät virheet, joita tuli prosessoinnissa. Kokonaisvirhe oli alle 5 cm. Kaikkia signaaleita ei voitu ottaa laskentaan mukaan, sillä virheet olisivat kasvaneet liian isoiksi. Valintaruudulla valitut kuvat otettiin laskentaan mukaan. Kopteriin kiinnitettävän gimbaalin moottorit alkoivat värisemään tietyissä olosuhteissa lennon aikana, jolloin myös siihen kiinnitetty kamera tärisi. Näin ollen kuvista tuli epätarkempia. Havainto tehtiin vasta lentojen jälkeen. Koetyössä ei ollut aikataulusyistä mahdollista suorittaa lentoja uudestaan, joten epätarkkoja kuvia yritettiin välttää lopputuloksessa.



Kuva 12. Metatietojen lisääminen Image Matcherilla.

Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)	
<input checked="" type="checkbox"/>	1	25486245.908000	6678962.377000	34.337000	0.025000	0.041983	21	0.202
<input checked="" type="checkbox"/>	2	25486233.574000	6678813.783000	33.844000	0.025000	0.062322	22	0.308
<input checked="" type="checkbox"/>	3	25486484.547000	6678716.814000	32.402000	0.025000	0.034890	17	0.546
<input checked="" type="checkbox"/>	4	25486689.827000	6678781.132000	29.157000	0.025000	0.069906	25	0.250
<input checked="" type="checkbox"/>	5	25486653.540000	6678984.307000	31.879000	0.025000	0.038757	21	0.332
<input checked="" type="checkbox"/>	6	25486603.617000	6679092.996000	34.280000	0.025000	0.050636	34	0.342
<input checked="" type="checkbox"/>	7	25486405.278000	6678943.475000	32.685000	0.025000	0.010386	26	0.225
<input type="checkbox"/>	8	25486372.520000	6678232.390000	26.186000	0.025000			
<input type="checkbox"/>	9	25486332.018000	6678376.456000	26.327000	0.025000			
<input type="checkbox"/>	30676	25486432.562000	6679033.356000	33.954000	0.025000			
<input checked="" type="checkbox"/>	30679	25486539.472000	6678718.488000	36.315000	0.025000	0.066044	10	0.330
<input type="checkbox"/>	30680	25486393.911000	6678472.416000	27.491000	0.025000			
<input type="checkbox"/>	30743	25486247.255000	6678320.371000	26.337000	0.025000			
<input checked="" type="checkbox"/>	30775	25486512.248000	6678657.926000	36.559000	0.025000	0.038074	11	0.299
<input type="checkbox"/>	30778	25486269.981000	6678202.954000	26.027000	0.025000			
Total Error								
Control points						0.049144		0.321
Check points								

Kuva 13. Virheet ilmakuvaprosessoinnissa. Yksinumeroiset pisteet kartoitettiin tätä työtä varten ja viisinumeroiset Espoon Kaupungin käyttökiintopisteille maalattuja signaaliristejä.

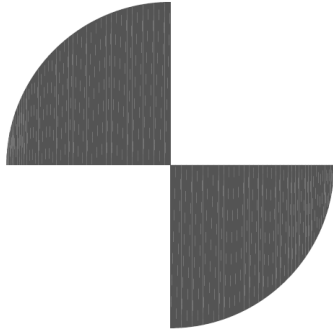
6.4 Laserkeilaus

Projektiin varten hankittiin tarkennusaineisto Leican P30-laserkeilaimella. Laserkeilausaineiston tarkoitus oli parantaa ilmakuvista fotogrammetrian avulla tuotetun pistepilven resoluutiota halutuilta alueilta. Laserkeilattavaksi alueeksi valittiin campusalueen pääkatu sekä sen välitöntä ympäristöä.

Projektissa käytetyn laserkeilaimen (kuva 14) yhden pisteen etäisyysmittauksen tarkkuus oli $1.2 \text{ mm} + 10 \text{ ppm}$. Vaaka- sekä pystykulman kulmatarkkuus $8''$. 3D-sijaintitarkkuus 3 mm 50 metrissä ja 6 m 100 metrissä. Skannauskulma vaakakehällä oli 360 astetta ja pystykehällä 290 astetta. Tähyksinä käytettiin paperisia $6''$:n mustavalkotähyksiä (kuva 15) sekä Leican pallotähyksiä (kuva 16). [40]



Kuva 14. Leica P30 laserkeilain.



Kuva 15. Mustavalkotähys.



Kuva 16. Pallotähys.

Pistepilvien rekisteröintiä varten tähykset mitattiin Trimble S6 -takymetrillä. Takymetrin orientointi tapahtui Espoon Kaupungin E5-luokan käyttökiintopisteiden avulla tunnetun sekä vapaan asemapisteen orientointina.

Tähykset sijoitettiin siten, että kahdella vierekkäisellä laserkeilauksen kojeasemalla on vähintään kaksi yhteistä tähyistä. Tällöin pistepilvien rekisteröinti onnistuisi tähyksen avulla, eikä pilvi pilveä vasten rekisteröintiä tarvitsisi tehdä, jolloin vältetään manuaalista työskentelyä.

Kojeasemien alustavat sijainnit suunniteltiin ennen tähyksen kiinnittämistä maastoon. Tällä pyrittiin varmistamaan, että kaikki halutut tähyksen näkyvät kustakin kojeasemasta ja vältymme ylimääräisiltä kojeasemien siirtelyiltä jonkin tähyksen jäädessä esimerkiksi lyhtypylvään taakse laserkeilaimesta katsottuna.

Tähyksen näkymisen pistepilvissä tunnistamalla ne laserkeilamen "pick target"-toiminnolla. Myös paperisten mustavalkotähyksen sekä pallotähyksen havaittavuutta. Huomattiin, että paperiset tähykset ovat helpompia tunnistaa "pick target"-toiminnolla pidemmällä matkalla kuin pallotähykset.

Kojeasemia oli yhteensä 16 kpl. Kojeasemilla 1–9 otettiin valokuvat, jotta pistepilvien pisteille saadaan RGB-arvo. Väriavokuvien ottamisesta luovuttiin ajankäytöllisistä syistä. Tästä syystä väriavokuvia ei otettu kojeasemilla 10–16.

6.5 Laserkeilausdatan prosessointi

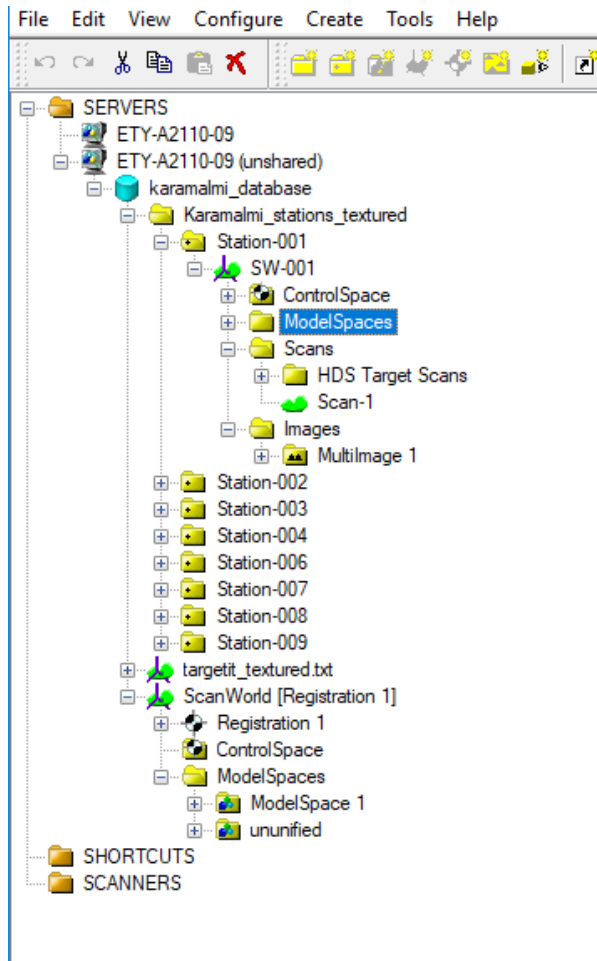
Cyclonella suoritettiin laserpistepilvien rekisteröinti, kojeasemien yhdistämisen yhdeksi pistepilveksi sekä laserkeilauspistepilvien karkeaa silmämääräistä siivoamista tarpeettomista pisteistä.

Käytimme aineiston keruussa Leican P30-laserkeilainta. Kojeesta saatavat usean laerkeilausaineistot oli helpointa käsitellä valmistajan omassa ohjelmassa. Erityisesti kojeasemien rekisteröinti ja pistepilvien yhdistäminen ovat Cyclonella tuotettuina erittäin laadukkaita.

Halutut kohdat pistepilvestä kirjoitettiin PTS- tai E57-formaattiin, koska Cyclone ei tukenut LAS-vientiä kirjoitushetkellä ja nämä kaksi olivat tiedostomuotoja, joita CC luki.

6.5.1 Leica Cyclonen tietokannan rakenne

Cyclonen luoma IMP-tietokanta koostuu projektitiedostosta, joka sisältää kaiken keilausdatan. Projektikansio pitää sisällään jokaisen kojeaseman, jota Cyclone kutsuu nimellä ScanWorld. Yksittäinen ScanWorld jakautuu kansioihin, joita ovat ControlSpace, ModelSpace, Scans ja Images. (Kuva 17.)



Kuva 17. Cyclone tietokanta.

ControlSpace on pistepilvi, jossa ovat keilausdata ja pistepilvessä olevat tähykset. Kun rekisteröintiä tehdessä pistepilviä yhdistetään, Cyclone viittaa tähän kansioon. ControlSpaceen tulisi tehdä muutoksia ainoastaan, mikäli tähyksiä täytyy lisätä tai niiden sijaintia halutaan muuttaa.

ModelSpace on myös pistepilvi, jossa ovat kojeaseman keilausdata sekä tähykset. Rekisteröinnin yhteydessä luodaan rekisteröity ModelSpace, joka on yhdistetty usean eri kojeaseman pistepilvistä. Jos pistepilveen aikoo tehdä muutoksia, sitä haluaa tarkastella tai sieltä haluaa poistaa jotain, tulisi se tehdä ModelSpace:een. ModelSpaceja voi luoda useamman joko kopiaimalla se kokonaan tai käyttämällä aita-työkalua pistepilveä tarkastellessa.

Scans-kansio pitää sisällään kojeasemakohtaisen keilausdatan sekä "pick target"-toiminnolla skannatut tähykset. Tähän näkymään ei voi tehdä muutoksia.

Images on kuvakansio, joka sisältää keilaimen ottamat valokuvat sekä Multimage-alikansion. Avaamalla Multimage-alikansion voi tarkastella valokuvista muodostettua panoraamakuvaa tai yksittäisiä valokuvia.

6.5.2 Leica Cyclone -tietokannan luonti

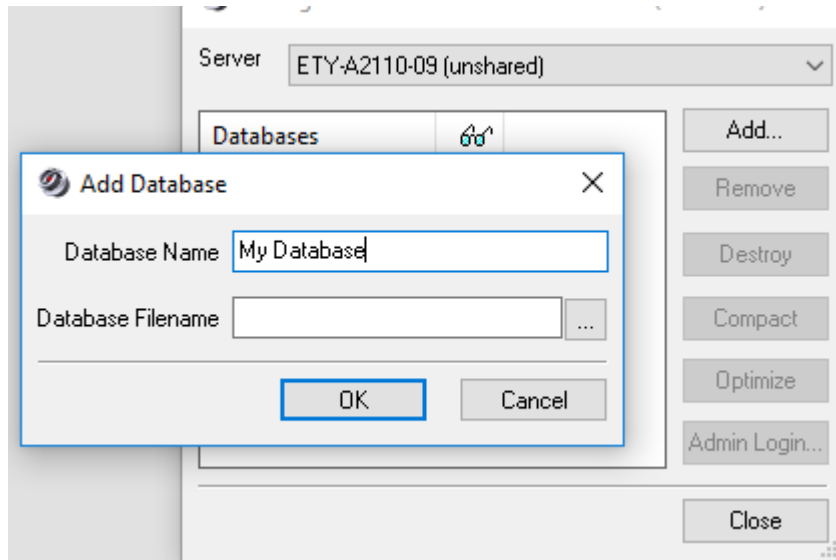
Ennen tietokannan luomista ensimmäistä kertaa on tiedostojen hallinnan vuoksi suotavaa valita, mihin Cyclone-tietokanta kovalevyllä tallennetaan, valitsemalla Edit -> Preferences ja siirtymällä Scan-välilehdelle. Tietokantoja kopioitaessa tai siirrettäessä tulee koko tietokantakansio kopioida, jotta tiedonsiirrossa ei tapahdu virheitä ja data korruptoidu.

Name	Type	Size
eventlog	File folder	
karamalmi_databaseFsfSets	File folder	
recovery	File folder	
karamalmi_database.imp	Trimble imported ...	19 271 680 KB

Kuva 18. Cyclone tietokannan kansiorakenne.

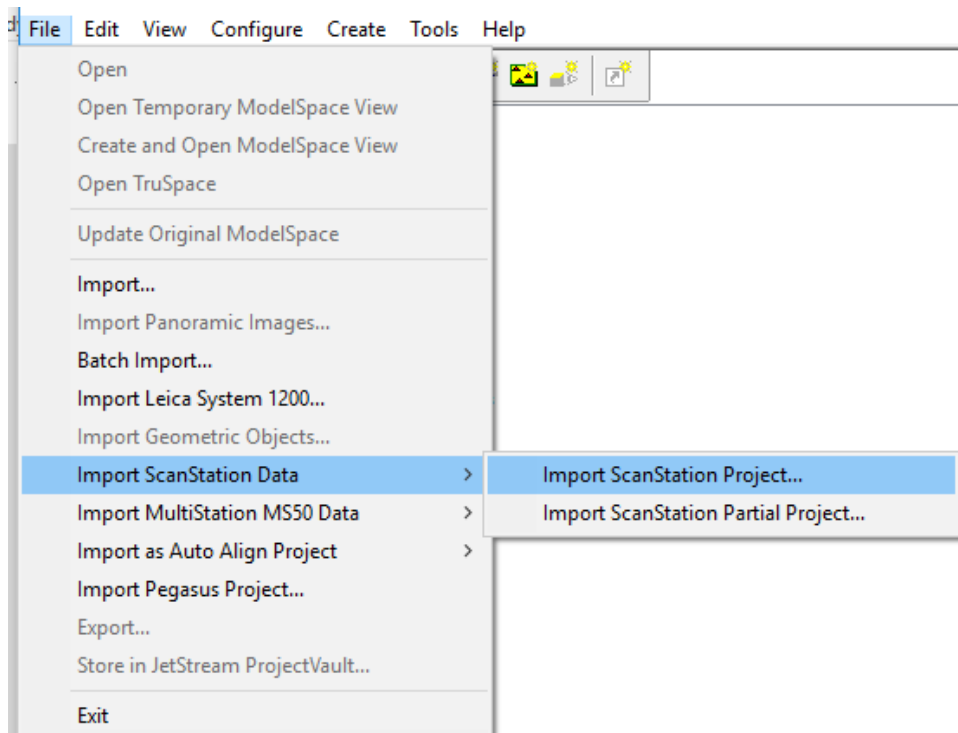
Tietokannan luominen alkaa serverin valitsemisella. Valmistaja suosittelee käyttämään jakamatonta (unshared) serveriä Cyclonen toiminnan optimoimiseksi jaetun (shared) sijaan. Käytimme jakamatonta serveriä, sillä tietokantoja ei työstetty verkossa vain ainoastaan tietokoneen kovalevyllä.

Tietokanta luodaan valitsemalla Configure -> Database -> Add. Tietokannan nimeksi voi antaa, minkä haluaa, mutta "Database Filename" tulee jättää tyhjäksi. (Kuva 19.)



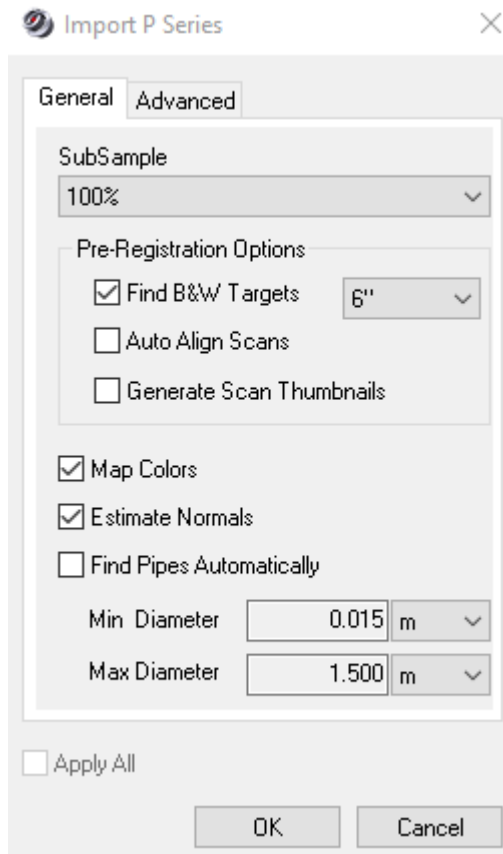
Kuva 19. Cyclone tietokannan luominen.

Laserkeilausdataa voi tuoda Cycloneen monella eri tapaa monesta eri lähteestä. Leica P30-laserkeilaimen data tuotiin tietokantaan valitsemalla Import ScanStation Data -> Import ScanStation Project. (Kuva 20.)



Kuva 20. Cyclone datan sisään lukeminen.

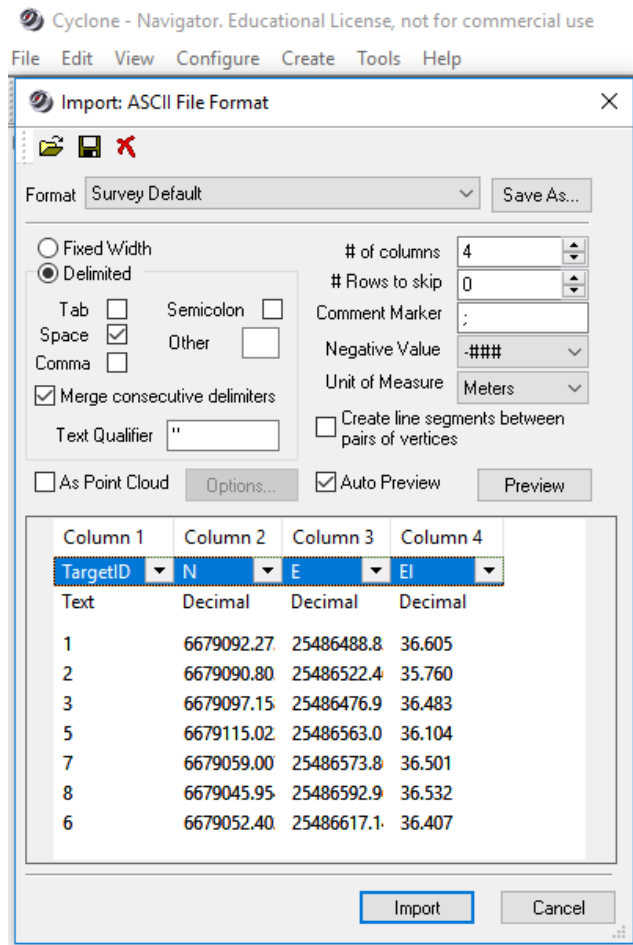
Import-valikon parametreista valittiin “Find B&W Targets” sekä “Estimate Normals”, sillä tähykset oli skannattu laserkeilausten aikana. Muuten ohjelman oletusasetukset pidettiin päällä. (Kuva 21.)



Kuva 21. Cyclone sisään luettavan aineiston ominaisuudet.

Laserkeilausdatan tuominen tietokantaan voi kestää kymmenistä minuuteista tunteihin riippuen tuotavan aineiston suuruudesta.

Takymetrillä mitatut tähykset tuodaan tietokantaan valitsemalla projektiansiosta Create -> Scanworld ja luomalla uuden ScanWorldin, jonka voi vapaasti nimetä. Tekstimuodossa olevat tähysten koordinaatit CSV-tiedostomuodossa tuodaan luotuun ScanWorldiin valitsemalla ScanWorld -> Import. Sarakkeet voivat olla eroteltuina joko pilkulla, välillä, puolipisteellä tai sarkaimella. Tähysten numerointi tai nimi tulee olla sarakkeessa “Target ID”. Lisäksi x, y ja z-koordinaatit voivat olla väärissä sarakkeissa, joten niiden järjestystä tulee tällöin muuttaa. (Kuva 22.)



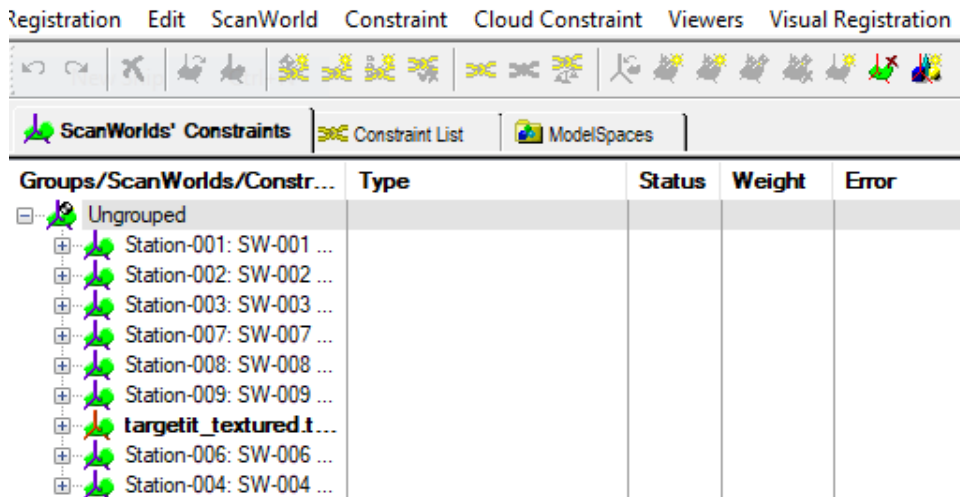
Kuva 22. Tähyksen koordinaattien sisään luku.

6.5.3 Laserpistepilvien rekisteröinti Cyclonessa

Pistepilvien rekisteröinnillä tarkoitetaan prosessia, jossa eri kojeasemien pistepilvet yhdistetään samaan koordinaatistoon. Yhdistäminen tehdään yhteisten pisteparien, kuten mitattujen tähyksen tai kahden kojeaseman pistepilvien päällekkäisyyden avulla.

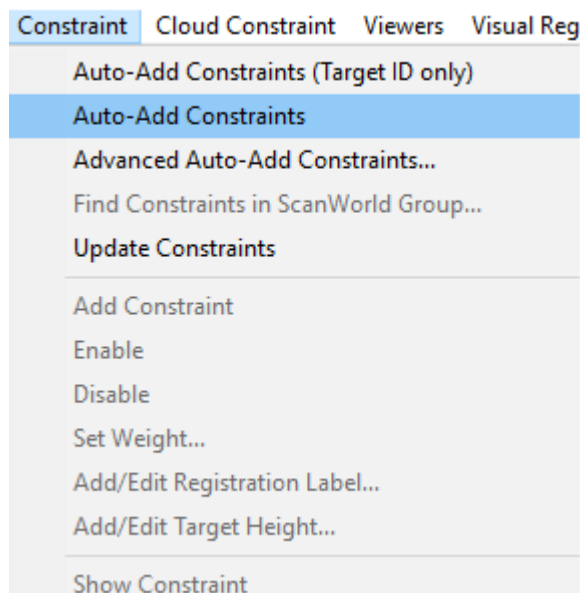
Tietokannan alla olevasta projektikansiosta valittiin Create -> Registration, johon lisättiin kaikki halutut kojeasemat sekä tähyksille luotu kojeasema.

ScanWorlds' Constraints -välilehdeltä valittiin tähyksen mitatut koordinatit sisältävä kojeaseman, joka asetettiin referenssiksi "Set home" -toiminnolla. Tällöin koordinaatisto muodostuu mitattujen tähyksen koordinaattien mukaan. (Kuva 23.)



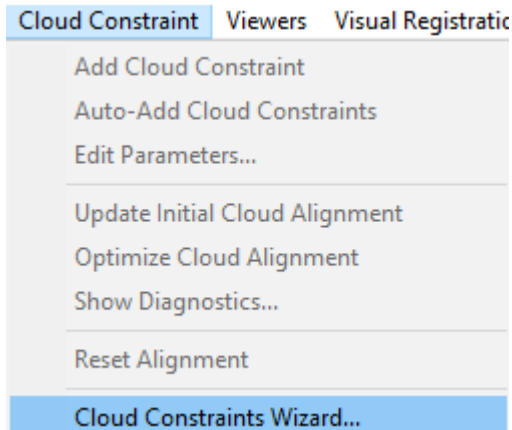
Kuva 23. Tähykset rekisteröinnissä.

Automaattinen rekisteröinti tähysten avulla suoritettiin valitsemalla Constraints -> Auto Add Constraints. Tässä vaiheessa Cyclone etsii pistepilvistä toisiaan vastaavia tähyksiä, joita se rekisteröinnissä tulee käyttämään. Rekisteröinti tehtiin valitsemalla Registration -> Register, jolloin ohjelma laskee pistepilvien yhdistämiselle virheet. Käyttäjä voi itse määrittellä, mitä tähyksiä hän haluaa ottaa mukaan rekisteröintiin, ja mitkä hän haluaa jättää siitä pois.



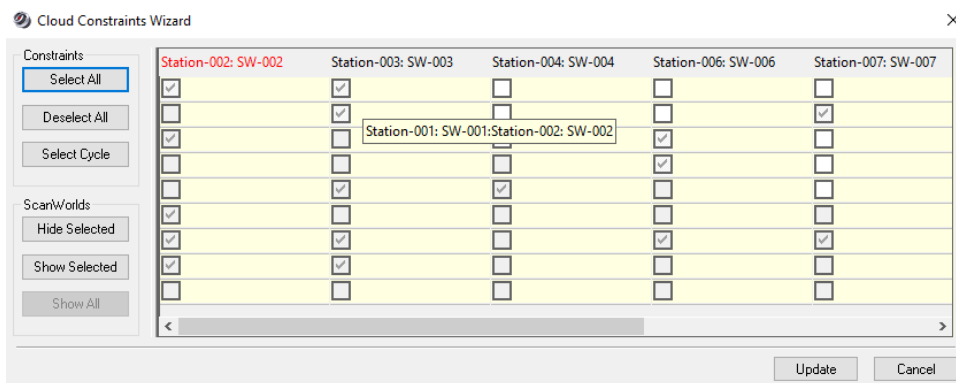
Kuva 24. Rekisteröinti tähysten avulla.

Tähysten avulla suoritetun rekisteröinnin jälkeen valittiin Cloud Constraints - Auto Add Cloud Constraints, jolloin ohjelma etsii kojeasemia, joissa on vähintään 20 %:n yhtäläisyys ja pyrkii yhdistämään pistepilvet päällekkäisten pisteiden avulla.



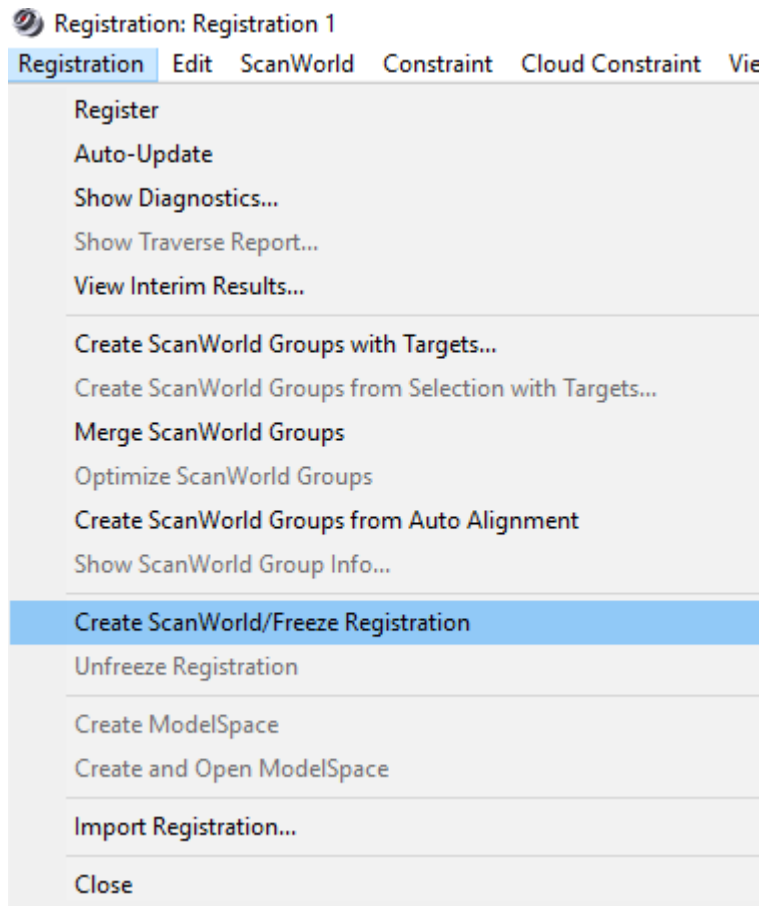
Kuva 25. Pistepilvein rekisteröinti ilman tähyksiä.

Kojeasemien välisiä yhteisiä pisteitä lisättiin rekisteröintiin myös manuaalisesti Cloud Costraint Wizardin avulla etsimällä kahden kojeaseman pistepilvistä vähintään kolme yhteistä pistettä. Valittavien pisteiden tuli olla vähintään 150mm tarkkuudella valittuja. Tätä arvoa voi halutessaan muuttaa. Pisteitä valitessa valittiin mahdollisimman kaukana toisistaan olevat kolme pistettä. (Kuva 26.)



Kuva 26. Cloud Constraint Wizard.

Kun rekisteröinnin virheet olivat hyväksyttävällä tasolla, tallennettiin rekisteröinti valitsemalla Registration -> Create ScanWorld/Freeze Registration. Lopuksi loimme rekisteröidystä pistepilvestä uuden ModelSpacen. (Kuva 27.)



Kuva 27. Rekisteröinnin tallentaminen.

6.5.4 Pisteiden vienti Leica Cyclonesta

Cyclonen kirjoittaa useita eri formaatteja, mutta ei LAS- ja LAZ-formaatteja. Huomioitavaa on, että Cyclonesta saa kirjoitettua E57-formaattia vain kojeasemittain. Esimerkiksi haluttuja pisteitä ei voi valita aita-työkalulla ja viedä E57 formaatissa ulos, mikäli pistepilvet on yhdistetty Cyclonen “unify”-toiminnolla rekisteröinnin jälkeen. Unify-toiminnolla voidaan vähentää päällekkäisiä pisteitä sekä pistepilven tiheyttä. Tämä parantaa ison pistepilven kanssa työskentelyä Cyclonessa. Koska pisteet aiottiin kirjoittaa ulos E57-formaatissa, Unify-toimintoa ei käytetty. Pisteet kirjoitettiin ulos valitsemalla File -> Export sekä haluttu tiedostomuoto.

6.6 Pistepilvien luokittelu

Tässä työssä pisteiden luokitteluun käytettiin Terrasolidin kehittämää Terrascan-ohjelmistoa. Siinä olevat työkalut soveltuvat hyvin sekä laserpiste- että fotopistepilven luokitteluun ja käsittelyyn. Terrascan on Microstationin lisäosa, joka mahdollistaa suurten pistepilvien käsittelyn.

Pistepilvet tuotiin Terrascaniin LAS muodossa, jossa ne myös kirjoitettiin ulos. Ennen pisteiden lukemista Terrascaniin täytyi laserpistepilvelle suorittaa formaattimuunnos. Cyclonestä ulos kirjoitettu pistepilvi täytyi muuttaa CloudComparella E57-muodosta LAS-muotoon, sillä Terrascan ei lue E57-muodossa olevia pistepilviä. Tämä tapahtui lukemalla pistepilvi CloudCompareen ja tallentamalla se eri tiedostomuodossa. Photoscanin ilmakuvista tuottaman fotopistepilven saa kirjoitettua ulos LAS-muodossa, joten formaattimuunnosta ei tarvittu.

Ilmakuvista tuotettua fotopistepilveä sekä laserpistepilveä luokiteltiin erikseen, sillä niihin toimivat hieman erilaiset makrot. Pisteitä luokitellessa pyrittiin mahdollisimman automaattisesti suoritettuun luokitteluun. Luokittelua tehtiin automaattisesti makroilla sekä manuaalisesti valitsemalla pisteitä pistepilvestä.

Pisteiden koordinaatit muunnettiin GK25 -lyhyisiin koordinaatteihin vähentämällä itäkoordinaatista 25 000 000 laskentaprosessin optimoimiseksi.

Pistepilvien suuren koon vuoksi koko aineistoa ei voida luokitella kerralla vaan pistepilvi täytyy jakaa pienempiin osiin. Tämän tehtiin lukemalla joka 100. piste Terrascaniin ja piirtämällä pistepilven päälle aluejaon. Rakennusten kohdalla alueet piirrettiin pienemmiksi kuin sellaisilla alueilla, joissa niitä ei ollut. Tällä pyrittiin saamaan jokaiseen piirrettyyn alueeseen lähestulkoon saman verran pisteitä. Sisään luetut pisteet suljettiin, minkä jälkeen valittiin kaikki piirretyt alueet. Piirrettyihin alueisiin luettiin kaikki pisteet piirretyn aluerajauksen mukaan ja projekti tallennettiin Terrascanin käyttämässä FBI-muodossa. Ominaisuuksina koordinaattien lisäksi sisään luettiin pisteiden väri ja luokka.

6.6.1 Fotopistepilven luokittelu

Fotopistepilvi sisälsi huomattavasti enemmän kohinaa kuin laserkeilattu pistepilvi. Pistepilvessä esiintyvää kohinaa pyrittiin poistamaan luokittelemalla hajapisteitä sekä

tasoittamalla pistepilveä "Smooth Points" -toiminnolla. Automaattisella luokittelulla luokiteltiin pisteitä maanpinnan pisteiksi, rakennuksiksi sekä kasvillisuudeksi. Fotopistepilven heikon laadun vuoksi työssä ei onnistuttu luomaan makroa, jolla olisi päästy luokittelussa yhtä hyvään tulokseen kuin laserpistepilveä luokiteltaessa. Fotopistepilven luokittelusta suurin osa tehtiin manuaalisesti.

6.6.2 Laserpistepilven luokittelu

Laserkeilattu pistepilvi sisälsi paljon tarpeettomia pisteitä, kuten autoja, ihmisiä sekä rakennusten ikkunoiden aiheuttamia heijastuksia, jotka ilmenivät rakennusten sisällä olevina pisteinä. Maasta käsin suoritettuna laserkeilauksen pistepilvi on hyvin tasaista päällystetyn maanpinnan osalta. Yleisestikin tarkasteltuna laserpistepilvessä on huomattavasti vähemmän melua kuin fotopistepilvessä. Tästä syystä maanpintaa luokittelevasta makrosta jätettiin kokonaan pois "SmoothPoints" -vaihe. Laserpistepilven luokittelua varten saatiin optimoitu makro, joka luokitteli maanpinnan pisteet siten, että se vaati erittäin vähän manuaalista luokittelua.

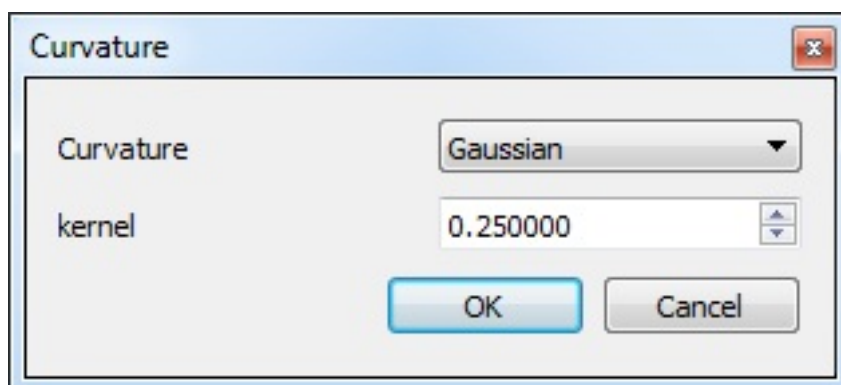
6.7 Pistepilvien prosessointi ja yhdistäminen CloudComparella

6.7.1 Pistepilven ominaisuudet

Pistetiheys ja sitä mukaa tahojen (facets) määrä on yksi merkittävä tekijä kevyessä 3D-mallissa. Luonnollisesti mitä vähemmän mallissa on aineistoa, sitä kevyempi sitä on prosessoida. Kuvassa 4 (s. 17) on yksi esimerkki siitä, minkälaisia pistetiheyksiä voidaan käyttää. Tähän viitaten käytimme tasaisilla alueilla noin 1–2 pts/m² pistetiheyttä ja yksityiskohtaisemmillä alueilla jopa yli 10 pts/m², sillä ajoradan yksityiskohteiden ja muiden paljon muotoja sisältävien kohteiden haluttiin näkyvän tarkasti. Tällä tekniikalla mallin tiedostokoko laskee, mutta tahojen määrä kasvaa.

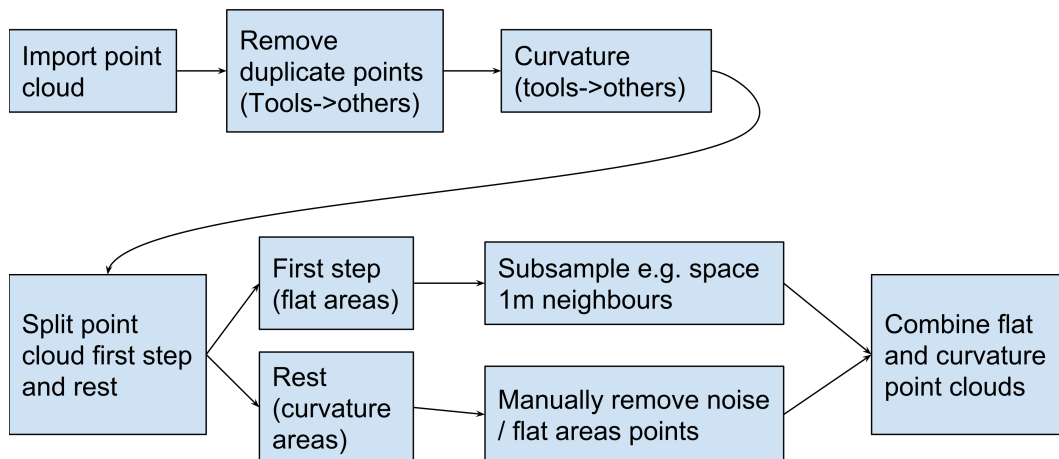
6.7.2 Pistepilven käsittely

Pistepilven käsittelyyn ja yhdistämiseen käytettiin CloudCompare-ohjelmaa. Kuvassa 29 esitetään käsittelyn työjärjestys. Ensiksi pisteet luettiin ohjelmaan ja pilvestä poistettiin mahdolliset tuplapisteet ja suurimmat häiriöt, jotta laskentatehoa ei kuluisi turhaan seuraavissa vaiheissa. Tämän jälkeen ajettiin Curvature-niminen laskenta, joka yrittää sovittaa toisen asteen käyrää jokaiselle pisteelle, esimerkiksi paraabelia tai hyperbolia. Laskennan päämääränä oli selvittää, missä suhteessa määritettävä piste oli naapureihinsa. [41] Laskennassa käytettiin Gaussin-käyrää, joka todettiin toimivimmaksi vaihtoehtoiksi. Muita vaihtoehtoja olivat Mean ja yksinkertaistetun normaalin arvон vaihtelumenetelmä. Kuvassa 28 annettavalla "kernel"-parametrilla voitiin määrätä viereisten pisteiden kattavuus.



Kuva 28. Curvature-dialogi.

Curvature-prosessi muodosti laskennan perusteella skaalan (scalar field), ja näin saatiin selville, mitkä pisteet ovat tasossa ja mitkä kaarevissa kohdissa. Jos yhtälöä ei voitu sovittaa vierekkäisten pisteiden vähyden vuoksi, ohjelma värjäsi pisteet harmaaksi.



Kuva 29. CloudCompare-käsittelyprosessi.

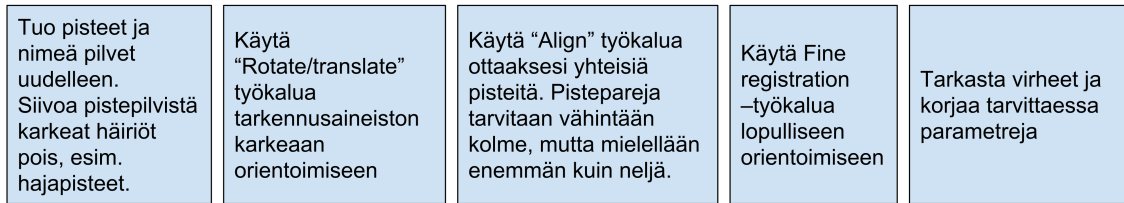
6.7.3 Tarkennusaineisto ilman signaaleita

Tarkennusaineiston keräämistä kokeiltiin myös ilman signaaleita, jolloin tuloksena on erilliskoordinaatistossa oleva pistepilvi. Havaittu aineisto sovitettiin pohja-aineistoon kuvan 30 mukaisesti. Lähteenä käytettiin CloudComparen omaa ohjeistusta [42].

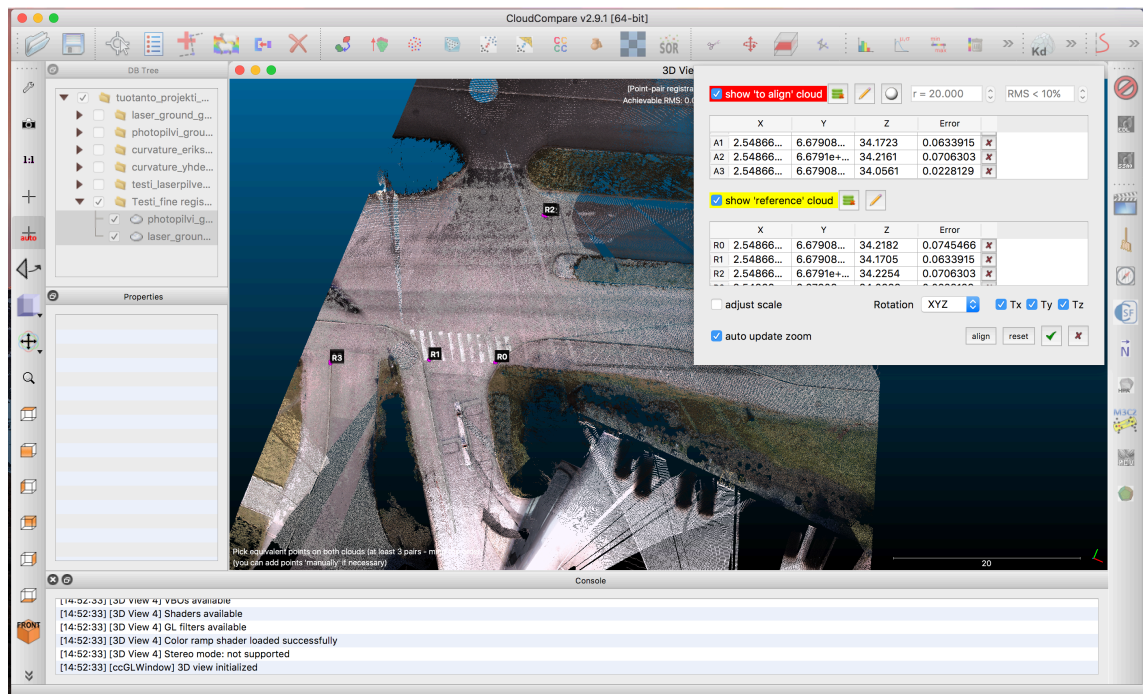
Ensiksi pistepilvet aseteltiin karkeasti lähekkäin, jotta pisteparien ottaminen Align-työkalulla oli helpompaa. Sen jälkeen neljä pisteparia otettiin mahdollisimman eri puolilta aineistoa (kuva 31). Työkalun avulla suoritettiin ensimmäinen orientointi.

Kuvan 32 työvaiheessa käytettiin fine registration -työkalua. Se on automaattinen ja iteroi annetusta satunnaisesta pistelukumäärästä lähimpiä mahdollisia pisteitä ja tekee niistä pistepareja manuaalisen Align-työkalun tapaan. Työkaluun on mahdollista asettaa teoreettinen "overlap" -prosenttilukema, joka auttaa laskentaa iteroinnissa. Prosentit tarkoittavat sitä, kuinka paljon pistepilvet menevät päällekkäin teoriassa.

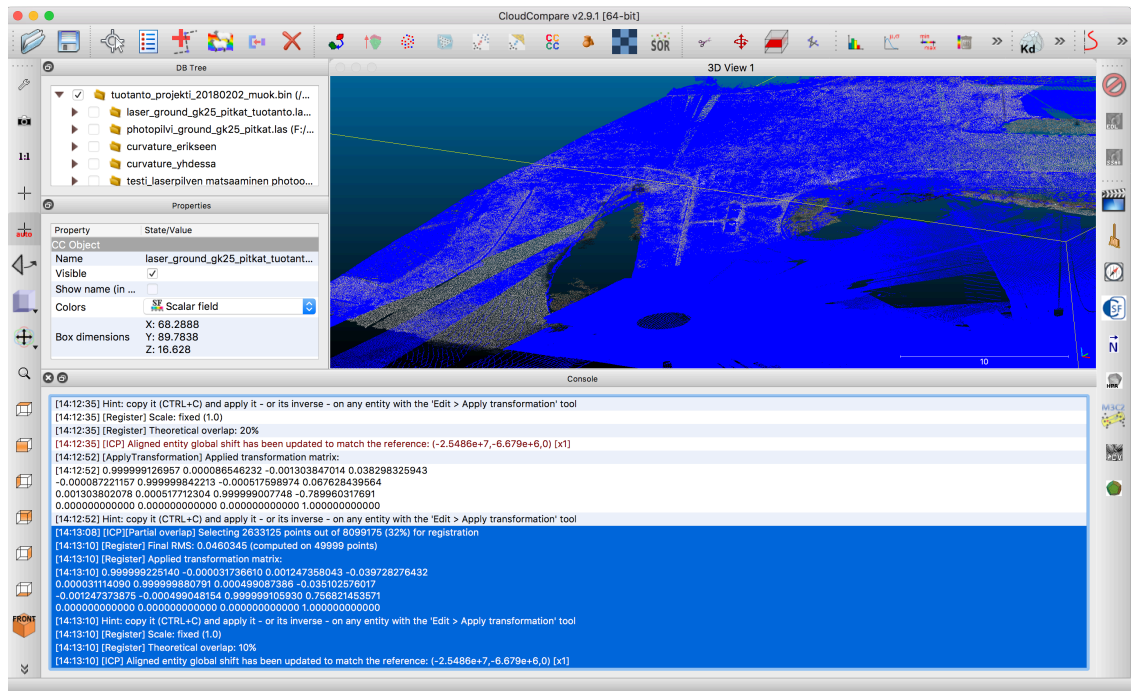
Tulokseksi saatiin 0.049m virhe, joka vastasi pohja-aineiston tarkkuutta. Näin ollen rekisteröinti onnistui.



Kuva 30. Orientoimisprosessi manuaalisesti.



Kuva 31. Align registration manuaalisesti pistepareilla. Esimerkkikuva.



Kuva 32. Fine registration 10% overlap. Sinisellä orientoidut pisteet.



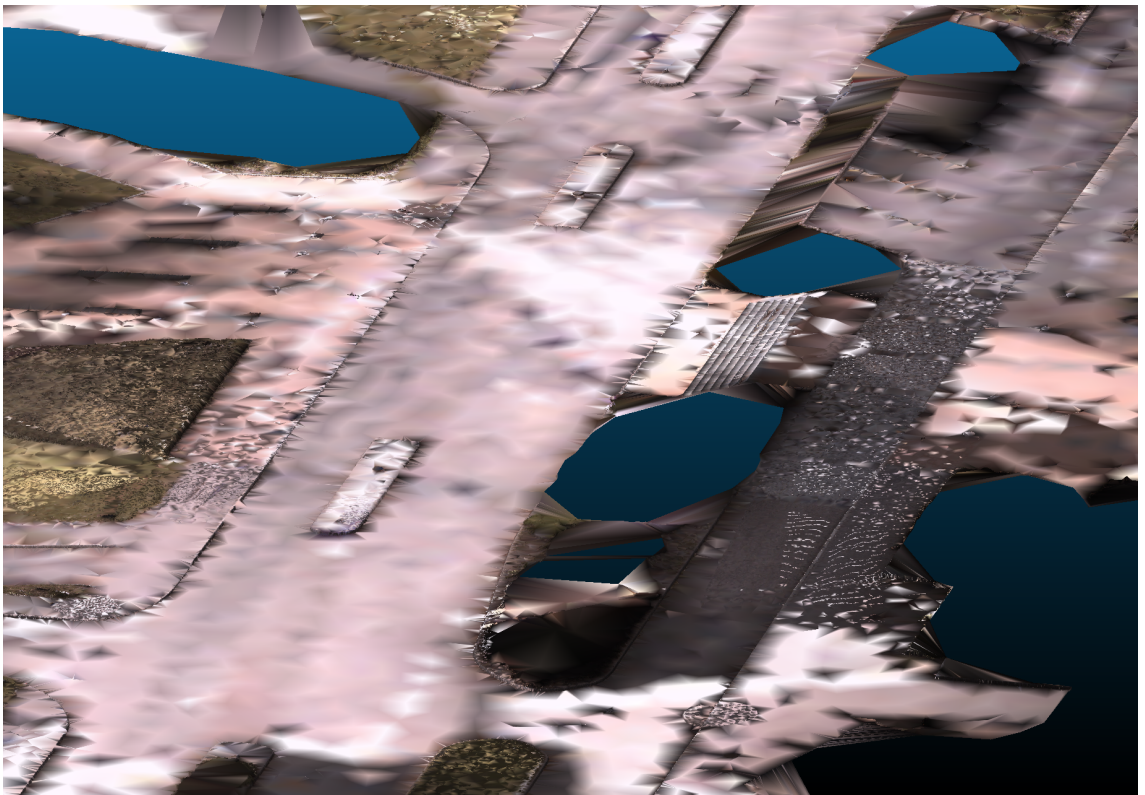
6.8 Kolmiointi ja valmis 3D-malli

Pistepilvi kolmioitiin käyttämällä CloudComparen ”Delaynau 2.5D (Best fit plane)” -työkalua. Työkalu käytti delaunay-kolmiointilaskentaa, jonka keksi alun perin venäläinen Boris Delaunay. [43] CloudComparella pystytään tekemään mallin optimointia monella tavalla laajan parametrien säätömahdollisuuden ansiosta. Ohjelman valmiiksi antamat parametrit osoittautuivat kuitenkin hyväksi, joten valmiiksi laskemia parametreja päätettiin käyttää lopullisessa työssä pelkästään niitä.

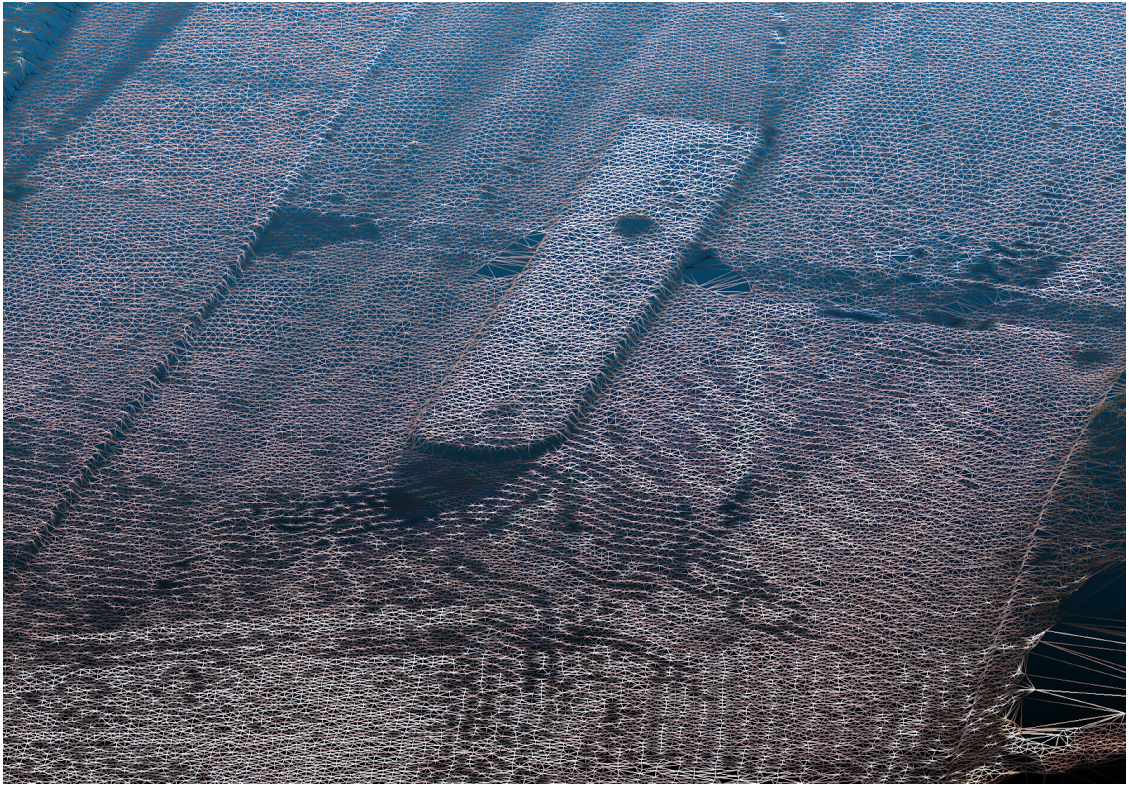
Perusideana mallia kevennettäessä on jättää yksityiskohtaisemmille alueille enemmän kolmioita kuin tasaisemmille alueille. Tällöin resoluutiota pienennettäessä yksityiskohdat eivät häviä kokonaan. Kuvissa 33 ja 34 vertaillaan optimoimatonta ja optimoitua mallia sekä kuvissa 35 ja 36 samoista kohdista rautalankamalleja.



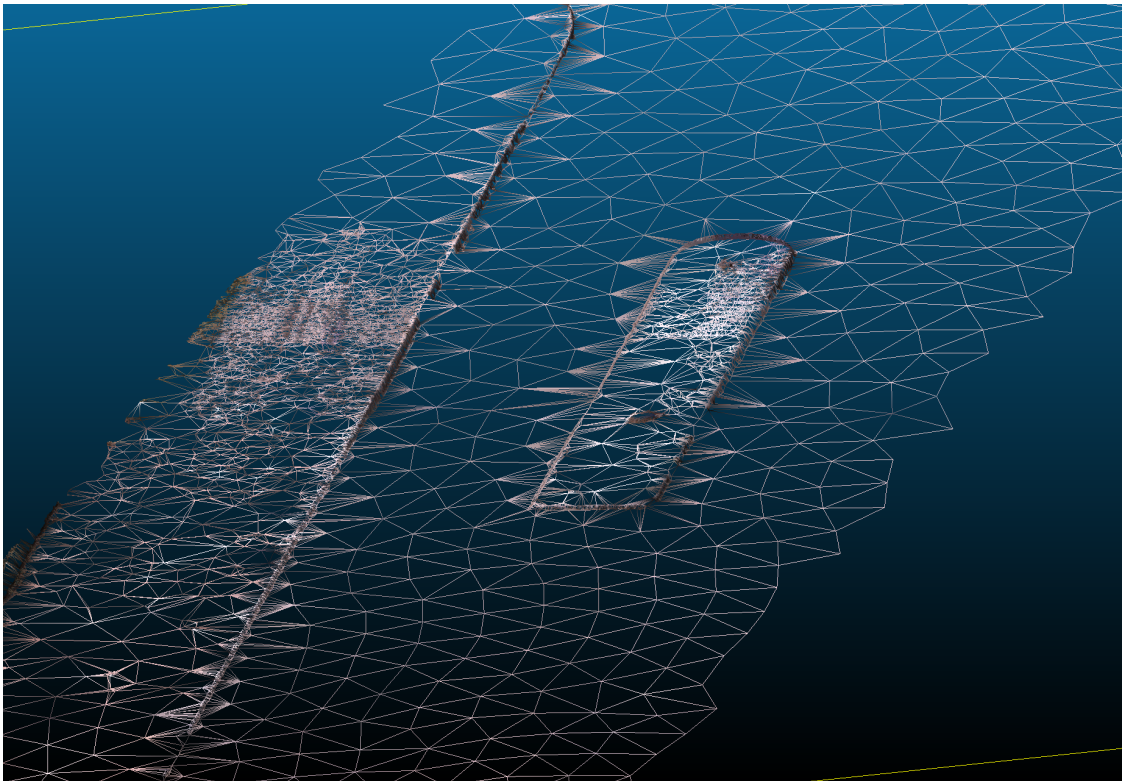
Kuva 33. Kolmioitu, ei optimoitu.



Kuva 34. Kolmioitu, optimoitu malli.



Kuva 35. Rautalankamalli, ei optimoitu.



Kuva 36. Rautalankamalli, optimoitu.

7 Tulokset ja loppupäätelmät

7.1 Pohdinta

Kevyen 3D-mallin tarkkuus ja resoluutio ovat suhteellisia, ja ne riippuvat paljon käyttötarkoituksesta. Muun muassa ohjeistuksia luettaessa huomattiin, että mallinnuksen vaatimukset on sovittava aina projektikohtaisesti.

Tämän insinööriyön tavoitteena oli kehittää prosessi, jolla tuotetaan kevyttä 3D-mallia. Tavoitteeseen päästiin huomioon ottaen tutkimukseen annetut resurssit ja lähtötasotiedot. Työn aikana havaittiin, että tekniikka on ollut jo pitkään olemassa, mutta sen käyttöönotto ja työskentelyprosessit ovat vielä kehitteillä. Mallien optimointiin suoraan liittyviä tutkimuksia ei myöskään löydetty. Tästä työstä on toivottavasti hyötyä tuotantomenetelmien kehittäjille niin julkisella kuin yksityiselläkin sektorilla.

7.2 Työssä havaittuja näkökulmia ja kokemuksia

Tutkittu aihe sisälsi yhden tärkeimmistä tulevaisuuden näkökulmista liittyen optimointiin ja mallin rakentamiseen. Samankaltaisia toimintatapoja on hyödyllistä ja välttämätöntä tutkia myös jatkossa. Mallien tuottaminen kasvaa tulevaisuudessa, joten resurssien vähyydestä johtuen toimintatapojen ja prosessien tulee olla mahdollisimman selkeitä ja hyvin automatisoituja.

Tulevaisuudessa mallin optimointia kannattaa tutkia vieläkin laajemmin ja tarkemmin. Erilaiset teknologiat tarvitsevat jo nyt paljon aineistoa toimiakseen ja sen määrä kasvaa. RPAS-laitteella suoritettavan aineiston keruuseen vaikuttaa akku- ja laiteteknologian kehittyminen sekä uusien toimijoiden määrä. Laskentateho ei kuitenkaan kehity samaa tahtia, joten kompromissit ja optimoinnit tulevat olemaan avainasemassa. Mallintamisen ja sen tiedostoformaattien standardien muodostuessa 3D-malleja pystytään hyödyntämään entistä tehokkaammin ja useammin. Kaikki voidaan mallintaa, mutta se ei välttämättä ole kustannustehokasta. Oleellinen kysymys tulevaisuudessa on, mikä tieto on hyödyllistä. On tarkasteltava kokonaisuutta, joka usein ratkaisee lopputuloksen laadukkuuden.

Erilaisten menetelmien testaamiseen ja opiskeluun meni paljon työtunteja, koska aihe oli opetuksellisesti uusi. Juuri tämä teki aiheesta mielenkiintoisen ja tieto piti etsiä itsenäisesti. Tiimityöskentely auttoi asioiden jäsentämisessä ja pohdinnassa paljon. Koetyön osalta suurin yksittäinen hidastava tekijä oli tietotekniikan laskentateho. Se aiheutti välillä jopa päivien tyhjäkäyntiä. Aineistonkeruupäiviin kannattaa panostaa ja auditoida siitä saatava aineisto huolella, koska se vaikuttaa käsittelyn ja lopputuloksen onnistumiseen.

Koetyön aikana huomattiin, toisaalta myös liian myöhään, miten tärkeää on suunnitella ja valmistella huolellisesti se, mitä ollaan tekemässä. Täysin tuntematonta aihetta on vaikea lähteä suunnittelemaan tarkasti, jos ei ole aiempaa kokemusta. Tämän työn osalta olisi auttanut edetä pienin askelin ja kokoontua sitten pohtimaan, meneekö työ haluttuun suuntaan. Malti on valttia – kuten sanonta kuuluu.

Tiimityöskentely koettiin onnistuneeksi. NykYTEknologia mahdollistaa hyvät vuorovaikutusmahdollisuudet esimerkiksi kevyen videoneuvottelun muodossa. Videopuhelut auttoivat keskustelun ylläpitämisessä ja ajatuksien vaihtamisessa.

Lähteet

- 1 Uuden sukupolven kaupunkitietomallit Helsinkiin. 2016. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. <<https://www.hel.fi/uutiset/fi/kaupunginkanslia/uuden+sukupolven+kaupunkitietomallit+helsinkiin>>. Luettu 02.03.2018.
- 2 Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin lennättäminen (OPS M1-32). 2017. Liikenteen turvallisuusviraston määräyksiä. Verkkoaineisto. Liikenteen turvallisuusvirasto. <https://www.trafi.fi/file-bank/a/1482415412/c34a1bef37860a2559d61acf4fdebb3a/23514-OPS_M1-32_VALMIS_maarays_RPAS_fi.pdf>. Luettu 10.3.2018.
- 3 Haggren, H & Honkavaara, Eija. 2005. Verkkoaineisto. Kuvankäsittely. <<https://foto.aalto.fi/opetus/1010/luennot/6/Luento6-Kuvanesikasittely.pdf>>. Luettu 05.03.2018.
- 4 Haggren, Henrik. 2002. Verkkoaineisto. Fotogrammetrian yleiskurssi. Verkkoaineisto. Aalto-yliopisto. <<https://foto.aalto.fi/opetus/301/luennot/1/1.html>>. Luettu 05.03.2018.
- 5 Haggren, Henrik. 2003. Verkkoaineisto. Fotogrammetrian perusteet. Verkkoaineisto. Aalto-yliopisto. <<https://foto.aalto.fi/opetus/300/luennot/1/1.html>>. Luettu 05.03.2018.
- 6 Ackermann, Friedrich., Schwidersky, Kurt,. 1978. Fotogrammetria. Espoo: Otapaino.
- 7 Tuotekuvaus. 2018. Verkkoaineisto. Trimble. <http://www.trimble.com/Imaging/Trimble-MX7>. Luettu 10.3.2018.
- 8 Tuotekuvaus. Verkkoaineisto. Maanmittauslaitos. <<http://maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/laserkeilausaineisto>>. Luettu 05.03.2018.
- 9 HRI projekti. 2017. Verkkoaineisto. Helsinki Region Infoshare. <<http://www.hri.fi/fi/hri-projekti/>>. Luettu 05.03.2018.
- 10 About. Verkkoaineisto. Agisoft. <<http://www.agisoft.com/about/>>. Luettu 02.03.2018.
- 11 CloudCompare Wiki. Verkkoaineisto. <http://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Main_Page>. Luettu 03.03.2018.
- 12 Leica Cyclone. Verkkoaineisto. Leica Geosystems AG. <http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-Cyclone_6515.htm>. Luettu 03.03.2018.

- 13 Leica Cyclone server. Verkkoaineisto. Leica Geosystems AG. http://hds.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/cyclone/brochures-datasheet/Cyclone_SERVER_DS_en.pdf. Luettu 09.03.2018.
- 14 Lehtonen, Pekka. 2010. Terrasolid toimii maailmanlaajuisesti. Maankäyttölehti 4/2010. <http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk410/mk410_1414_lehtonen.pdf>. Luettu 03.03.2018.
- 15 Solutions. 2014. Verkkoaineisto. Terrasolid. <<http://www.terrasolid.com/solutions.php>>. Luettu 06.05.2018.
- 16 Difference Between Binary and vs ASCII. 2012 Verkkoaineisto. Difference between.com. <<http://www.differencebetween.com/difference-between-binary-and-vs-ascii/>>. 12.11.2012. Luettu 03.03.2018.
- 17 LASer (LAS) File Format Exchange Activities. Verkkoaineisto. ASPRS. <<https://www.asprs.org/committee-general/laser-las-file-format-exchange-activities.html>>. Luettu 03.03.2018.
- 18 LibE57. 2010. Verkkoaineisto. <<http://libe57.org/>>. Luettu 04.03.2018.
- 19 Huber, Daniel. 2011. Verkkoaineisto. Presentation: The ASTM E57 File Format for 3D Imaging Data Exchange. <https://www.unavco.org/community/meetings-events/2011/tls/presentations/3_Fowler_spie-e57.pdf>. Luettu 03.03.2018.
- 20 E57 example code. 2010. Verkkoaineisto. Libe57. <<http://libe57.org/example.html>>. Luettu 06.05.2018.
- 21 Laserscanning forum. 2009. Verkkoaineisto. <<https://www.laserscanning-forum.com/forum/viewtopic.php?t=743>>. Luettu 04.03.2018.
- 22 Generic Binary File. 2008. Verkkoaineisto. Fileinfo. <<https://fileinfo.com/extension/bin>>. Luettu 04.03.2018.
- 23 Which file formats are recommended for processing point clouds in TerraScan? Knowledgebase. 2015. Verkkoaineisto. Terrasolid. <<https://www.terrasolid.com/support/kb/faq.php?id=4>>. Luettu 11.03.2018.
- 24 Laserscanning forum. 2009. Verkkoaineisto. <<https://www.laserscanning-forum.com/forum/viewtopic.php?t=743>>. Luettu 04.03.2018.
- 25 Rouse, Margaret. 2016. 3D modeling. Verkkoaineisto. Whatis.com. <<http://whatis.techtarget.com/definition/3D-modeling>>. Luettu 04.03.2018.
- 26 Helsingin 3D-kaupunkimallit. 2017. Verkkoaineisto. Helsinki Region Infoshare. <<https://hri.fi/data/fi/dataset/helsingin-3d-kaupunkimalli>>. Luettu 04.03.2018.

- 27 Haaraniemi, Niko. 2016. Insinööriyö. Kaupunkimalli ja mallinnus fotogrammetrisin keinoin: Selvitys Kalajoen kaupungille. Lapin ammattikorkeakoulu. Theseustietokanta. Luettu 09.03.2018.
- 28 Palviainen, Markus. 2006. 3D-mallinnus ja teksturointi tietokonepeleissä. Verkkoaineisto. Helsingin yliopisto. <https://www.cs.helsinki.fi/u/vihavain/k06/sem/esitelmät/palviainen_kalvot.pdf>. Luettu 04.03.2018.
- 29 Mesh overview. 2009. Verkkoaineisto. Wikipedia.org. <https://en.wikipedia.org/wiki/Polygon_mesh#/media/File:Mesh_overview.svg>. Luettu 06.05.2018.
- 30 Rohrba, Felix. 2015. Point density and point spacing. Verkkoaineisto. <<http://felix.rohrba.ch/en/2015/point-density-and-point-spacing/>>. Luettu 04.03.2018.
- 31 Rohrba, Felix. 2015. Point Density Applications. Verkkoaineisto. <http://felix.rohrba.ch/en/files/2015/07/PointDensity_Applications.jpg>. Luettu 06.05.2018.
- 32 Polygon mesh. 2004. Verkkoaineisto. Wikipedia.org. <https://en.wikipedia.org/wiki/Polygon_mesh>. Muokattu 21.03.2018. Luettu 06.05.2018.
- 33 Ragnemalm, Ingemar. 2009. Verkkoaineisto. <<http://computer-graphics.se/TSBK07-files/pdf/PDF09/10%20LOD.pdf>>. Luettu 04.03.2018.
- 34 Still, James. 2018. Verkkoaineisto. Point 2 Surveyors - LOD Examples 1, 2, 3 and 4. <<https://skfb.ly/6vVNo>>. Luettu 04.03.2018.
- 35 Tie- ja ratahankkeiden inframalli ohje. 2017. Liikenneviraston ohjeita 12/2017. Verkkoaineisto. Liikennevirasto. <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2017-12_tie_ratahankkeiden_web.pdf>. Luettu 04.03.2018.
- 36 Yleiset tietomallivaatimukset YTV2012. Osa 1. 2012. Verkkoaineisto. BuildingSMART Finland. <<https://buildingsmart.fi/yleiset-tietomallivaatimukset-ytv/>>. Luettu 04.03.2018.
- 37 Kestrel autopilot. Verkkoaineisto. Lockheed Martin. <<https://www.lockheedmartin.com/us/products/procerus/kestrel-autopilot.html>>. Luettu 04.03.2018.
- 38 Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin lennättäminen (OPS M1-32). 2017. Liikenteen turvallisuusviraston määräyksiä. Verkkoaineisto. Liikenteen turvallisuusvirasto. <https://www.trafi.fi/filebank/a/1482415412/c34a1bef37860a2559d61acf4fdebb3a/23514-OPS_M1-32_VALMIS_maarays_RPAS_fi.pdf>. Luettu 10.3.2018.
- 39 Tutorial (Beginner level): Orthomosaic and DEM Generation with Agisoft PhotoScan Pro 1.3 (with Ground Control Points). Verkkoaineisto. Agisoft.

- <[http://www.agisoft.com/pdf/PS_1.3%20-Tutorial%20\(BL\)%20-%20Orthophoto,%20DEM%20\(GCPs\).pdf](http://www.agisoft.com/pdf/PS_1.3%20-Tutorial%20(BL)%20-%20Orthophoto,%20DEM%20(GCPs).pdf)>. Luettu 04.03.2018.
- 40 Tuotetiedot. Verkkoaineisto. Leica Geosystems. <http://w3.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/general/brochures-datasheet/leica_scansation_p30-p40_civil_ds_en.pdf>. Luettu 05.03.2018.
- 41 Girardeau-Montaut, Daniel. 2015. Curvature. Verkkoaineisto. CloudComparewiki. <<http://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Curvature>>. Luettu 09.03.2018.
- 42 Girardeau-Montaut, Daniel. 2015. Alignment and Registration. Verkkoaineisto. CloudComparewiki. <http://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Alignment_and_Registration>. Luettu 05.04.2018.
- 43 Seppälä, Antti. 2001. Pintoja kuvaavien verkkojen muodostaminen ja optimointi. Pro gradu –tutkielma. Verkkoaineisto. Tampereen yliopisto. <https://tampub.uta.fi/bitstream/handle/10024/89295/Seppala_Antti.pdf?sequence=1>. Luettu 11.03.2018.