



Aleksanteri Keravuori

Rakennusten mittaaminen ja mallintaminen fotogrammetrisesti dronella korjaussuunnittelua varten Ideestructura Oy

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Projektinhallinta

Opinnäytetyö

10.12.2021

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Aleksanteri Keravuori Rakennusten mittaaminen ja mallintaminen fotogrammetrisesti dronella korjaussuunnittelua varten 56 sivua + 3 liitettä 10.12.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikka, ins.
Ammatillinen pääaine	Projektin hallinta
Ohjaajat	Tietomalliasiantuntija Mika Konttila Yliopettaja Mika Lindholm
<p>Tämä opinnäytetyö on laadittu IdeaStructura Oy:lle. Tutkimuksen tavoitteena oli kartoittaa drone-avusteiden fotogrammetrian tarjoamia mahdollisuuksia korjausrakentamisessa sekä tuottaa vesikattojen fotogrammetrisestä mallintamisesta ohjeistus.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin fotogrammetrian tarjoamia mahdollisuuksia, erilaisia tapoja tuottaa pistepilvimalli valokuvista sekä kartoitettiin sopivaa tarkkuustasoa projektista riippuen. Tutkimus tehtiin ohjekorttien, alan kirjallisuuden, haastattelujen sekä oman kokemuksen ja kokeilujen pohjalta.</p> <p>Perusteet fotogrammetrisen inventointimallin luomisesta saatiin kattavasti selville, minkä lisäksi saatiin hyvin kokemusta kevyemmän, suunnittelun avuksi käytettävän mallin tekemisestä. Tarkan tietomallintamisen pohjana käytettävän mallin tekeminen osoittautui raskaaksi toimenpiteeksi verrattuna kevyempään ja hieman epätarkempaan malliin.</p> <p>Tutkimuksen perusteella todettiin, että kuhunkin kohteeseen on syytä kartoittaa vaadittu mallin taso etukäteen. Dronen avulla voidaan opinnäytetyön perusteella hankkia aineistoa korjaussuunnittelun lähtötiedoksi. Kevyempien mallien tuottaminen onnistuu yrityksen sisäisesti. Toistaiseksi raskaampien ja tarkempien mallinnusten tuottaminen on järkevää tilata ulkopuoliselta konsultilta.</p>	
Avainsanat	drone, ilmakehuvaus, fotogrammetria

Author Title	Aleksanteri Keravuori Modelling Buildings Photogrammetrically with a Drone
Number of Pages Date	56 pages + 3 appendices 10 December 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Project Management
Instructors	Mika Konttila, BIM Manager Mika Lindholm, Principal Lecturer
<p>This thesis was made for IdeaStructura Oy. The purpose was to find the advantages of drone operated photogrammetry in renovating old buildings and to provide instructions on modelling rooftops photogrammetrically.</p> <p>Opportunities that photogrammetry can offer, different ways to produce a point cloud model from pictures, and the right level of 3D model accuracy depending on the project were investigated. The investigation was based on instruction cards, literature in the field, interviews, the authors` s experience, and testing in practice.</p> <p>The basics of photogrammetric modelling for point cloud model were covered comprehensively. Information about creating a lighter point cloud model to support the designer`s work was researched more extensively. Creating a more accurate point cloud model was found to be a surprisingly heavy operation when compared to a lighter and slightly more inaccurate model.</p> <p>The results indicated that for every project it is important to find right level of details in model, before even starting to create the model. On the basis of this thesis, a drone can be used to provide initial information for repair planning. Producing lighter models will work inside the company with no need for external help. When it comes to creating accurate models for BIM-modelling, it is more reasonable to order that service from an external consultant.</p>	
Keywords	drone, aerial photography, photogrammetry

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Mittausteknologiat	3
2.1	Laserkeilaus rakenteiden mittauksessa	4
2.2	Fotogrammetria rakennusten mittauksessa	5
2.2.1	Reality capture	7
2.2.2	Autodesk ReCap	9
2.2.3	Drone Deploy	10
3	Korjausrakentaminen ja -suunnittelu	11
3.1	Korjaussuunnittelu	12
3.2	Rakennuksen kunnan kartoitus	13
3.3	Lähtötietojen hankinta korjaussuunnittelua varten	14
4	Dronen käyttö korjaussuunnittelun tukena	17
4.1	Laitteisto	17
4.2	Lainsäädäntö ja määräykset	19
4.2.1	Nykyinen lainsäädäntö	19
4.2.2	Lentoturvallisuus	22
4.2.3	Yksityisyys	24
4.3	Valokuvaaminen dronella	24
4.3.1	Valokuvaus käsikäyttöisellä kameralla	25
4.3.2	Valokuvaaminen markkinointia varten	26
4.3.3	Kohteiden valokuvaaminen korjaussuunnittelun tueksi	27
4.4	Kuntotutkimus ja dronen hyödyntäminen niissä	28
5	Case: Meritullinkatu 6 mallinnus korjaussuunnittelua varten	31
5.1.1	Valmistelut	31
5.1.2	Tavoitteet	33
5.1.3	Lento ja dokumentointi	34
5.1.4	Otettujen kuvien läpikäyminen	35
5.1.5	Fotogrammetrisen mallin kasaaminen	35
5.1.6	Eri tekniikoilla toteutettujen tasokuvien vertailu	37

5.1.7	Hyödyntäminen käytännössä	38
5.1.8	Yhteenveto prosessista	41
6	Vaiheittainen ohje vesikaton mallinnukseen	42
6.1	Käyttötarkoituksen kartoitus	43
6.2	Lennon ja kuvauksen suunnittelu	43
6.3	Valmistelut kohteessa ennen lentoa	44
6.4	Kuvauslento	44
6.5	Kuvien läpikäyminen	47
6.6	Kuvien vieminen Reality Capture ohjelmistoon	49
6.7	Pistepilvimallin muuttaminen mesh-malliksi Reality Capture:ssa	51
6.8	Valokuvamallin tuominen Reality Capturesta muokattavaksi malliksi	52
6.9	Rakennuksen koko ulkovaipan mallintaminen	55
6.10	Sopivan tarkkuustason määrittäminen kohde kohtaisesti sopivaksi	42
7	Yhteenveto	56
	Lähteet	57
	Liitteet	
	3 kpl	

Lyhenteet ja käsitteet

Drone	kauko-ohjattava lennokki/ multikopteri
GPS	Global positioning system
RTK	Real Time Kinematic eli Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus.
Ortokuva	Mittatarkka ilmakehän kuva, joka on oikaistu karttaprojektioon ja siitä on poistettu pinnan muotojen aiheuttamat piirtovirheet.
Mesh-malli	Monikulmioista koostuva pintamalli, joka kuvaa kohteen visuaalista ulkonäköä sekä geometriaa.
Pistepilvi	Mallintamalla syntynyt xyz-koordinaattien joukko, joka kuvaa kohteen geometriaa. Pisteissä on usein myös RGB-väri, joka auttaa visuaalisessa hahmotuksessa.
RGB	Red-Green-Blue, numeerinen väriarvo.
LiDAR	Light Detection and Ranging, valotutka kuten laserkeilain.
EASA	European Union Aviation Safety Agency, Euroopan lentoturvallisuusvirasto.

1 Johdanto

Opinnäytetyö sai alkunsa keväällä 2020 Ideastructura Oy:lle tehdyn innovaatioprojektin seurauksena. Innovaatioprojektissa tutkittiin dronen mahdollisia käyttökohteita kuntotutkimusten parissa ja havaittiin sen tarjoamaan mahdollisuuteen tuottaa puuttuvista julkisivuista ja vesikatoista mittatarkat 2D-kuvat ilman lisälaitteistoa. Laajempaan selvittämiseen innovaatioprojektin yhteydessä ei ollut mahdollisuuksia, joten tällä opinnäytetyöllä pyrittiin syventämään käyttömahdollisuuksia.

Tutkimuksen lähdeaineistona käytettiin aiheeseen liittyviä RT-kortteja, aiheesta kirjoitettuja kirjoja, korjausrakentamisen ammattilaisten haastatteluja sekä internet artikkeleita aiheeseen liittyen.

Opinnäytetyössä käytännön tutkimuskohteena toimi Kruunuhaassa sijaitseva kerrostalokohde, johon on suunnitteilla vesikattokorjaus. Tutkimus keskittyi tarkemmin vesikattojen mallintamiseen, mutta on suoraan sovellettavissa myös koko ulkovaipan mallintamiseen.

Tutkimuksen tarkoituksena on kartoittaa fotogrammetrian tarjoamia mahdollisuuksia Ideastructuran tarpeisiin korjausrakentamisessa, miten dronen avulla voidaan hankkia lähtötietoja korjaussuunnittelun tarpeisiin, sekä luoda ohjeistus fotogrammetrisen mallin luomiseen. Samalla selvitettiin mitä mallinnuksia yrityksen on kannattavaa tehdä itse ja minkä tasoiset mallinnukset on kannattavampaa tilata ulkopuolisilta konsulteilta.

Korjausrakentamisen suunnittelussa suurimpana haasteena on olemassa olevien rakenteiden sijaintien ja mittojen epävarmuus. Osa rakenteista on piilossa toisten rakennekerrosten takana, mutta näkyvienkin rakenteiden laajempi mittaaminen on työlästä perinteisin keinoin. Näkyvien rakenteiden tarkkaan kolmiulotteiseen mittaukseen käytetään enenevässä määrin laserkeilausta ja fotogrammetrista mallintamista. Laserkeilaus on sisätiloissa toimiva menetelmä, mutta rakennusten ulkovaippojen mallintamiseen se ei ole suurien etäisyyksien ja korkeuserojen takia toimiva tapa. Ulkovaippoja mallinnettessa fotogrammetrian hyödyt pääsevät oikeuksiinsa juuri dronejen avulla. Niiden avulla voidaan valokuvata ja mallintaa rakennuksen osat, joihin pääseminen on muutoin haasteellista.

Tutkimustyön tavoitteena oli selvittää korjauskohteiden mallintamista dronen avulla. Tutkimuksessa keskityttiin kevyeen mallinnukseen. Mikäli kohteesta ei tehdä tietomallia vaan luotua mallia käytetään suunnittelun tueksi ja visualisointiin ei siltä vaadita samantyyppistä mittatarkkuutta kuin tietomallikäyttöön tehtävältä pistepilvimallilta.

Tavoite saavutettiin pääosin, kevyen fotogrammetrisen mallin luominen onnistui dronea käyttäen ja mallintamisen vaiheista laadittiin ohjeistus yrityksen käyttöön. Mittatarkkuuden osalta ei saavutettu yleisten tietomallivaatimusten tasoa, mutta periaatteet tämän saavuttamiseen ovat tiedossa. Kevyiden, suunnittelua avustavien mallien käyttö on vielä vähäistä, prosessien tehostuessa fotogrammetrisille mallinnuksille on paikka korjauskennushankkeissa.

2 Mittausteknologiat

Rakennuksia voidaan mitata monella eri tapaa, voidaan käyttää perinteisiä tyylejä, jotka ovat pitkälti käsityötä. Toinen vaihtoehto on modernimmat mittaustyyliä, jotka perustuvat pitkälti tietokoneiden laskentaan ja ovat täten automatisoidumpia. Perinteisiä tyylejä ovat esimerkiksi mittanauha, takymetri ja lasermitta, kun taas modernimpia tyylejä ovat laserkeilaus, fotogrammetria tai näiden yhdistely. Nykyaikaisemmat mittaustyyliä tuottavat lopputuloksen pääsääntöisesti 3D-muodossa, kun aiemmin käytössä olleet antavat vain yksittäisiä mittoja.¹

Perinteiset mittaustyyliä, kuten takymetri ja lasermitta ovat edelleen tärkeitä ja niitä käytetäänkin lähtöarvojen määrittämiseen myös nykyaikaisemmissa mittaustyyliä. Esimerkiksi laserkeilausta varten on määritettävä keilaimen sijainti tarkasti, eikä tämä onnistu luotettavasti ilman takymetrimittausta. Laser- ja rullamitalla voidaan ottaa yksittäisiä mittoja talteen hyvin pienellä kynnyksellä. Mitat voivat olla joko detaljisuunnittelun osalta tärkeitä tai niistä voidaan tarkistaa mallinnusvaiheessa 3D-mallin mittojen paikkansapitävyys.²

Nykyaikaisilla mittaustyyliä kolmiulotteisia malleja voidaan kasata valokuvista monella eri tyylillä ja ohjelmistolla. Peruseriaate on kuitenkin aina samankaltainen, mallin kasaava tietokoneohjelmisto määrittää valokuvasta kiintopisteitä, ja laskee niiden perusteella kameran tai keilaimen sijainnin. Mittojen tarkkuutta voidaan parantaa kiintopisteillä, tarkentamalla kameran tai keilaimen sijaintia kuvanottohetkellä ja lisäämällä valokuvien lukumäärää. Lopputuloksena on pistepilvimalli, jota voidaan käyttää inventointimallina.²

¹RT 03-10525 Rakennusten ja rakennusosien mittajärjestely (luettu 22.11.2021)

²RT-103375 Pistepilviaineisto suunnittelun lähtötietona ja inventointimallintaminen (luettu 4.11.2021)

2.1 Laserkeilaus rakenteiden mittauksessa

Laserkeilaus on mittaustapa, jossa mitataan lasersäteellä etäisyydet ympäröiviin pintoihin. Mittaus perustuu lähetettyihin lasersäteisiin ja niiden takaisin heijastuksiin pinnoilta ja erityisesti niiden matkaan käyttämään aikaa, jonka perusteella lasketaan pintojen etäisyys laserkeilaimesta. Täten saadaan mittatarkkaa kolmiulotteista tietoa, tämä keino luoda pistepilviä on parhaimmillaan sisätiloissa, sillä ulkona keilatessa etäisyydet kasvavat nopeasti suuriksi ja mittatarkkuus heikkenee.³

Laser keilaus on parhaimmillaan, kun puhutaan muutaman kymmenen metrin etäisyyksistä. Suuria etäisyyksiä merkittävämpi rajoitus on ulkokuorta keilatessa se, että keilaimella on työlästä keilata ylempiä osia rakennuksista. Vesikattoa laserkeilatessa keilain täytyisi saada usean metrin korkeuteen katon pinnasta, jotta laserkeilattu alue olisi järkevän kokoinen. Laserkeilaimien hinnat ovat laskeneet vuosien saatossa, ja niistä on saatavilla myös käsikäyttöisiä malleja. Näiden hinnat ovat silti melko korkeita, ellei käyttö ole aivan päätoimista. Puhutaan edelleen kymmenistä tuhansista euroista, mikäli halutaan ammattikäyttöön suunnattu laadukas laite. Viimevuosina on tullut markkinoille myös droneihin kiinnitettäviä laserkeilaimia, joilla saadaan luotua pistepilvimalleja vaivatta esimerkiksi vesikatosta tai korkeiden rakennusten julkisivuista. Laserkeilauksessa ei itsessään tallennu värit pistepilveen, vaan malli on mustavalkoinen. Samalla otettavien valokuvien avulla saadaan tosin tallennettua jokaiselle 3D-pisteelle oma RGB-väriarvo. Värien sisällyttäminen pistepilveen tekee siitä havainnollistavamman ja selkeämmin hahmotettavan.⁴

³<https://geoslam.com/what-is-lidar/> (luettu 11.5.2021)

⁴RT-103375 Pistepilviaineisto suunnittelun lähtötietona ja inventointimallintaminen (luettu 4.11.2021)

2.2 Fotogrammetria rakennusten mittauksessa

Fotogrammetria perustuu pitkälti samaan periaatteeseen kuin laserkeilaus ja prosessina se onkin pitkälti saman kaltainen. Fotogrammetriassa ei tarvita kallista erikoislaitteistoa kuten laserkeilauksessa, vaan sitä voidaan tehdä millä vain digitaalisella kameralla. Fotogrammetriaa on perinteisesti käytetty maaston mallintamiseen ja kartoitukseen. Siinä käytössä kuvaus on tehty usein miehitetystä lentokoneesta, helikopterista tai jopa satelliitista, valtaosa nykyisistä kartoista onkin tehty tätä menetelmää käyttäen. Samalla saadaan tehtyä 3D-kartta, jossa on taltioituna maaston muodot tarkasti. Runsas käyttö maaston muotojen mallintamiseen näkyy edelleen ohjelmistojen sisällöissä. Kartan mallintamiseen on todella monia eri ohjelmia ja monessa karttojen tekeminen on tehty lähes automaattiseksi. Rakennusten mallintamiseen sen sijaan ei ole erikoistuneita ohjelmia juurikaan, mutta muutamat yritykset tarjoavat siihen mahdollisuuden karttamallinnuksen rinnalla.⁵

Mikäli kamerassa on riittävän tarkka GPS-paikannin, saadaan kunkin valokuvan sijainnit tallennettua valokuvan tietoihin. Tästä tiedosta on hyötyä pistepilveä kasatessa, sillä tietokoneen ei tarvitse prosessoida aivan alkutekijöistä jokaisen valokuvan suuntaa ja sijaintia siinä näkyvien kiintopisteiden perusteella. Valokuvien sijaintien laskeminen kiintopisteiden perusteella on raskas toimenpide ja vaatii tehokkaan näytönohjaimen samoin kuin itse 3D-mallin kasaaminen kuvista.⁶

Valokuvamallintamisella saadaan pintojen muotojen lisäksi niiden värit mallinnettua. Mikäli kaikki värit halutaan tuoda realistisina ja vääristymättöminä on prosessin kaikissa vaiheissa käytettävä kalibroituja laiteita. Rakennesuunnittelussa pintojen värit eivät ole kovinkaan merkitseviä, mutta esimerkiksi arkkitehtien tekemissä visualisoinneissa niiden merkitys on suuri.⁷

⁵ <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/143405/Introducing%20UAS%20and%20photogrammetry.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (luettu 13.5.2021)

⁶ Haastattelu fotogrammetriasta, Janne Hirvonen, Tietoa Oy

⁷ <https://helpx.adobe.com/fi/photoshop/using/working-with-color-profiles.html> (luettu 13.4.2021)

Vanhojen, museoviraston suojelemien rakennusten julkisivut ja vesikatot pitää monessa tapauksessa dokumentoida huolellisesti ennen remonttia, jotta rakenteet voidaan palauttaa varmasti entisenlaiseksi. Pelkkiin valokuvaan tai muistiin perustuen tämä on ainakin haastavammissa kohteissa lähes mahdotonta ja tähän fotogrammetria tarjoaa hyvän keinon taltioida lähtötilanne. Fotogrammetriseen malliin saadaan samalla tallennettua muotojen lisäksi värit vastaamaan juuri kyseisiä värisävyjä. Tulevaisuudessa dokumentoinnin vaatiminen ennen hankkeen aloitusta tulee lisääntymään. Lähtötilanteen dokumentoinnissa fotogrammetria on suureksi avuksi juuri sen takia, että samalla kertaa taltioituu mitat, värit ja rakenteiden muodot. Mallin lisäksi toimenpiteestä jää talteen todella kattava määrä valokuvia lähtötilanteen tarkastelua varten ilman minkäänlaista lisätyötä.^{8,9,10}



Kuva 1. Yrjönkatu 25 vesikatto, Helsingin keskustan vanhojen rakennusten vesikatot ja julkisivut ovat usein todella monimuotoisia, ja niiden nykytilanteen taltiointiin saadaan suurta apua fotogrammetriasta.

⁸<https://www.museovirasto.fi/fi/kulttuuriymparisto/rakennettu-kulttuuriymparisto/rakennusperintolailla-suojelu> (luettu 13.5.2021)

⁹Keskustelu Mika Konttilan kanssa 12.4.2021

¹⁰Keskustelu Jyrki Jallin kanssa kohteiden lähtötilanteen dokumentoinnista 2.3.2020

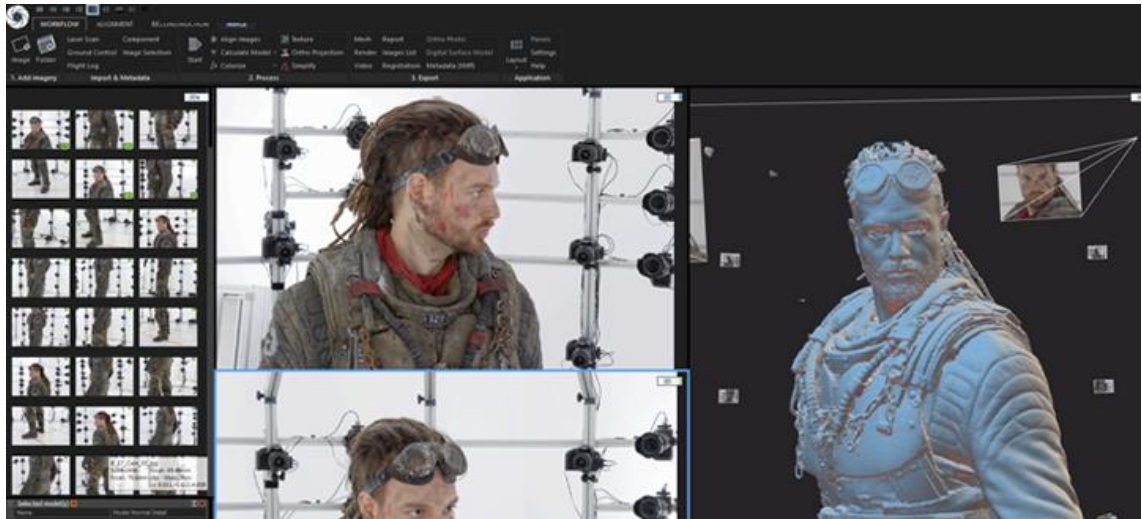
2.2.1 Reality capture

Reality capture on puhtaasti fotogrammetriaan keskittynyt ohjelmisto, jonka on kehittänyt Capturing Reality yritys. Ohjelmistoa käytetään niin korjausrakentamisen suunnittelua varten kuin myös videopelejä varten. Sen etuina on todella laajat säätämismahdollisuudet, kelvolliset ohjevideot netissä ja järkevä hinnoittelu. Reality Capturesta on saatavilla kuukausimaksulliset versiot, mutta satunnaiseen käyttöön löytyy järkevämpi vaihtoehto. Tässä vaihtoehdossa ohjelmaa saa käyttää ilmaiseksi ja maksetaan vasta siinä vaiheessa, kun 3D-malli on valmis ja sen haluaa siirtää toiseen ohjelmistoon. Hinnasta ei saanut tosin etukäteen oikein mitään vihjausta, että minkä kokoisesta summasta puhutaan. Kokeilujen perusteella hinnoittelu on hyvin maltillinen, eikä sillä ole juurikaan vaikutusta rakennushankkeen suunnittelun tai dokumentoinnin kokonaiskustannuksiin.¹¹

Reality Capturen laajojen ominaisuuksien takia sen käyttäminen on melko vaikeaa. Mahdollisuudet ovat kyllä todella laajat, mutta satunnaiselle käyttäjälle mahdollisuuksia on hieman liikaa tarjolla, jotta kaiken voisi oppia hyvin. Ohjelman käytössä päästiin hyvään alkuun, mutta erinomaista lopputulosta tavoiteltaessa, siihen on perehdyttävä vielä huomattavasti syvemmin. Ominaisuuksien opettelua hidasti se, että ohjelmiston käyttäminen normaalitehoisella tietokoneella on hyvin raskasta ja hidasta. Ohjelman käytön harjoittelua varten olisi luultavasti hyvä aloittaa mallintaminen esimerkiksi pienestä esineestä, jolloin prosessointiajat olisivat huomattavasti lyhyempiä.¹²

¹¹ <https://www.capturingreality.com/Products> (luettu 13.5.2021)

¹²Haastattelu fotogrammetriasta, Janne Hirvonen, Tietoa Oy

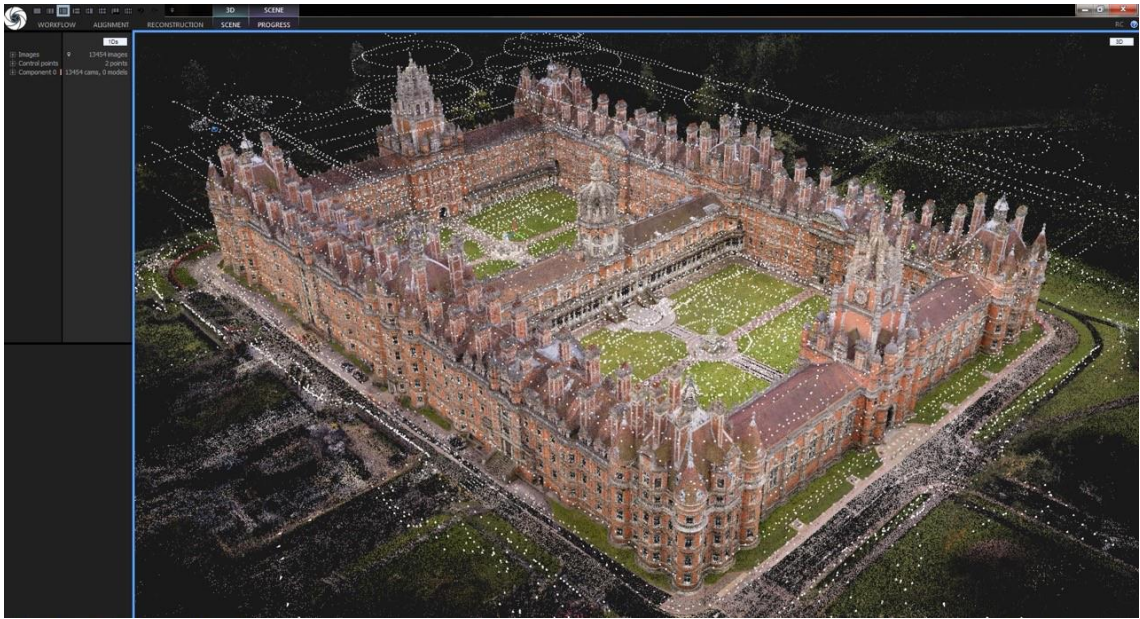


Kuva 2. Ohjelmistolla voidaan mallintaa todella yksityiskohtaisesti, vaikka ihminen tai pieni esine.¹³

Ohjevideoiden mukaan Reality Capturella voidaan mallintaa valtavia rakennuksia kuten linnoja tai kokonaisia kortteleita, mutta vaihtoehtoisesti sitä voidaan käyttää myös pienen esineiden mallintamiseen hämmästyttävän yksityiskohtaisesti. Ihmisten ja esineiden mallintamista käytetään esimerkiksi videopelejä tehdessä, näin säästytään työläältä manuaaliselta mallintamiselta ja suunnittelulta. Myös rakennuksien tai jopa kaupunkien skannausta ja mallinnusta käytetään nykyään videopelejä tehdessä.¹⁴

¹³<https://www.capturingreality.com/Explore-Full-body-Scans> (luettu 13.5.2021)

¹⁴<https://www.geoweeknews.com/news/capturing-reality-licenses-images-instead-of-software> (luettu 13.5.2021)



Kuva 3. Reality Capturella voidaan mallintaa kokonaisia kaupunkeja tai esimerkiksi suuria linnoja.¹⁵

Mallin tekemiseen voidaan käyttää dronen ja käsikäyttöisen kameran lisäksi laserkeilauksia ja yhdistellä näitä kaikkia parhaan tuloksen saavuttamiseksi. Ohjelmaa ammatikseen käyttävät hyödyntävät PPI (pay-per-input) laskutustapaa, jossa maksetaan vain valmiista mallista. Täten voidaan mallia työstää esimerkiksi pilvessä omilla servereillä tai muutoin käyttämällä useampaa tietokonetta samanaikaisesti. Tätä keinoa käytettäessä mallinnuksen prosessointi aikoja voidaan leikata todella paljon, tämä tosin vaatii syvempää tietoteknistä ymmärrystä kuin tavanomainen ohjelmiston käyttäminen.¹⁶

2.2.2 Autodesk ReCap

Autodeskin pistepilvien hallintaan kehittämä ohjelmisto, ReCap vaikutti selvästi enemmän laserkeilauksiin tarkoitettulta. Sen hinnoittelu vaikutti huomattavasti korkeammalta kuin työhön valitun Reality Capturen. Ohjelmistolla voidaan luoda myös fotogrammetrisia malleja, mutta siihen liittyvien ominaisuuksien osuus on hyvin pieni.¹⁷

¹⁵<https://www.geoweeknews.com/news/capturing-reality-licenses-images-instead-of-software> (luettu 13.5.2021)

¹⁶<https://www.capturingreality.com/Explore-Full-body-Scans> (luettu 13.5.2021)

¹⁷<https://www.autodesk.fi/products/recap/overview> (luettu 29.4.2021)

2.2.3 Drone Deploy

Drone Deploy ohjelma on kehitetty pääsääntöisesti kartoituksia, kuten työmaiden tilanteiden tai viljelmien kasvun seurantaan ajatellen. Sillä 3D-mallien luominen on vaivatonta ja lentämisenkin saa ohjelmoitua automaattiseksi, jolloin voi vain seurata sen etenemistä. Sen suurin etu on se, että ohjelma kasaa otetuista valokuvista 3D-mallin ulkoisilla servereillä, eikä täten vaadi tehokasta ja kallista tietokonetta. Mallin luominen tällä on tehty todella yksinkertaiseksi ja nopeaksi. Ohjelmistoa kokeiltiin vuosi sitten innovaatioprojektiin liittyen. Tulokset olivat suuri syy siihen, miksi kiinnostus aiheeseen heräsi. Yksityiskohtaisuudet jäivät kokeilussa melko huonolaatuiseksi, mutta mittojen osalta päästiin yllättävän hyvään tulokseen. Ohjelmiston yksinkertaisen käyttöliittymän takia sen käyttäjälle jätetyt säätämismahdollisuudet olivat lähes olemattomat. Ohjelmaa kokeiltiin vain 30 päivän mittaisena trial kokeiluna, sillä sen maksulliset versiot maksavat \$1200-\$3600 vuositasolla. Tästä syystä luultavasti yksityiskohdat jäivät huonotasoiseksi.¹⁸



Kuva 4. Ote Drone Deploy -palvelun luomasta 3D mallista.

¹⁸ <https://www.dronedeploy.com/pricing.html> (luettu 29.4.2021)

3 Korjausrakentaminen ja -suunnittelu

Korjausrakentamisella tarkoitetaan olemassa olevien rakennusten kunnostamista ja korjaamista. Suomessa tapahtuvasta rakennustuotannosta noin puolet on korjausrakentamista, asuinrakennusten osalta jopa hieman yli. Korjausrakentaminen tunnetaan myös saneeraus- nimellä. Kaikki rakennukselle tehtävät korjauksen kaltaiset työt eivät ole kuitenkaan korjausrakentamista, sillä rakennuksien kuntoa on jatkuvasti ylläpidettävä erilaisin toimenpitein. Pienemmillä ylläpitotoimenpiteillä pyritään pidentämään raskaampien korjauksien väliä ja pitämään kiinteistö hyvässä ja siistissä kunnossa.¹⁹

Maankäyttö- ja rakennuslaki velvoittaa pitämään rakennuksen ja se ympäristön sellaisessa kunnossa, että se on turvallinen, käyttökelpoinen ja täyttää terveellisyyden vaatimukset. Rakennus ja sen ympäristö on pidettävä sellaisessa kunnossa, etteivät ne aiheuta ympäristöhaittaa tai rumenna ympäristöä. Myös energiatehokkuudelle asetetut vaatimukset tulee täyttyä.²⁰

Pelkän korjaamisen lisäksi korjausrakentamiseksi mielletään usein myös korjaushankkeet, joissa muutetaan käyttötarkoitusta tai esimerkiksi ulkonäköä tai rakenteita. Tällaisia ovat esimerkiksi hankkeet, joissa vanha teollisuus- tai toimistorakennus muutetaan asuinkäyttöön kelpaavaksi. Näiden lisäksi on perusparannus-käsite, jolla tarkoitetaan rakennuksen ominaisuuksien huomattavaa parantamista, tällaisia ovat hissien lisäämiset hissittömiin rakennuksiin tai esimerkiksi ilmanvaihdon päivitys painovoimaisesta koneelliseksi. Käyttötarkoitusta tai ulkonäköä muuttavat toimenpiteet vaativat lähtökohtaisesti rakennusluvan, mutta mikäli vain korjataan kaikki entiselleen ei lupaa yleensä tarvita.²¹

Harkittujen ja suunniteltujen korjausten lisäksi on myös ennakoimattomia korjauksia, näitä aiheuttaa erilaiset vauriot, kuten vesivahingot, ilkivalta tai havaittu vaurio rakennuksessa. Ennakoimattomien korjauksien varaan ei kannata kiinteistön ylläpitoa jättää, vaan on suositeltavaa seurata pitkäntähtäimen suunnitelmaa korjauksien ja ylläpidon osalta. Etukäteen ammattilaisten toimesta laadittua korjaussuunnitelmaa seurattaessa voidaan

¹⁹ Korjausrakentaminen TX00BL88-3009: Korjausrak Luento1.pdf

²⁰ Maankäyttö- ja rakennuslaki <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>

²¹ Korjausrakentaminen TX00BL88-3009: Korjausrak Luento1.pdf

optimoida korjaukset ja välttää päällekkäiset samaan osaan kohdistuvat työt, jolloin säästetään kustannuksia ja työstä käyttäjille aiheutuvaa haittaa.²²

Korjausrakentaminen ja uudisrakentaminen poikkeavat toisistaan monilta osin. Korjausrakentamisen hankkeet ovat yleisesti pienempiä ja suunnitelmien tekeminen valmiiksi ennen työmaavaiheen aloitusta on lähes aina mahdotonta. Korjausrakentamisessa on oleellisena osana myös vanhan purkaminen ja se, että rakennus on usein käytössä myös hankkeen aikana. Korjausrakentaminen haastaa hankkeen osapuolia monella tapaa, oleellisessa osassa on kokemuksella saavutettu tieto sekä vanhojen rakennusten ja rakennustapojen tunteminen. Suunnittelun näkökulmasta haasteena on lähtötietojen saatavuus ja paikkansa pitävyys. Suunnitelmat voidaan tehdä heti, ennen urakan aloitusta valmiiksi, mutta takeita siitä, että ne ovat oikeanlaisia ja vastaavat rakennuksen nykytilaa, ei ole.²³

3.1 Korjaussuunnittelu

Korjaussuunnittelun ja -rakentamisen suurimpia haasteita uudisrakentamiseen verrattuna on lähtötietojen paikkansapitävyys tai ylipäätään olemassaolo. Nykypäivänä rakentamisen toleranssit ovat hyvin pieniä, ja toteutunut vastaa suunnitelmia lähes poikkeuksetta hyvin. Ennen tietomalli- tai CAD-suunnittelua suunnitelmat eivät olleet kokonaisuuksia ajatellen niin tarkkoja eikä toteutuksen tasokkaan ollut niin tarkkaa. Kun piirretään käsin, mittojen oikeellisuudesta ei ole yhtä helppoa varmistua kuin todellisilla mitoilla mallinnettaessa tai piirrettäessä.²⁴

Mittojen lisäksi myös kallistuskulmat poikkeavat usein suunnitelluista arvoista. Monimuotoisimmissa katoissa erilaisia kattokulmia voi olla kymmeniä, ja niiden kaikkien tarkistaminen ja muistiin merkitseminen käsin on hidasta työtä. Vanhoissa rakennuksissa on käytetty nykyistä enemmän koristeellisia muotoja julkisivuilla, ja vesikatoissa on usein haastavasti mallinnettavia pyöreitä tai kaarevia muotoja. Näiden piirtäminen ja mallintaminen käsin on hidasta ja epätarkkaa.²⁵

²²Korjausrakentaminen TX00BL88-3009: Korjausrak Luento1.pdf

²³Korjausrakentaminen TX00BL88-3009: Korjausrak Luento1.pdf

²⁴RT-103375 Pistepilviaineisto suunnittelun lähtötietona ja inventointimallintaminen (luettu 4.11.2021)

²⁵Keskustelu Mika Konttilan kanssa 12.4.2021

Korjausrakentamisen suunnittelussa ja mallintamisessa aikaa vie usein paljon piilossa olevien rakenteiden arvaaminen, toinen vaihtoehto on keskeyttää mallinnus ja mallintaa loppuun vasta, kun peittävät rakenteet on purettu ja saadaan selvitettyä kaikki piilossa olevat rakenteet.²⁶

Itse suunnittelua vaikeuttavia seikkoja on muutamia, jotka on syytä tiedostaa mallintamiseksi. Ne liittyvät usein talotekniikkaan ja piilossa oleviin rakenteisiin talotekniikan määrittäminen tuottaa usein haasteita, sillä suuria ilmanvaihtoputkia käytävätiloissa tuottaessa saattaa vaadittu huonekorkeus muodostua esteeksi. Vanhojen palkkien reitittäminen talotekniikkaa varten on haasteellista, sillä ei tiedetä tarkkaan palkkien kantavuuksia eikä niiden raudoitusten sijainneista tai vahvuuksista ole varmuutta. Näitä varten joudutaan suunnittelemaan työnaikaisia tai pysyviä tuentoja, jotka madaltavat huonekorkeutta entisestään. Yllättävä aikaa vievä toimenpide on myös inventointimallin siivoaminen, jotta päästään tekemään todellista tietomallintamista. Laserkeilauksessa ja fotogrammetriassa inventointimalliin tulee helposti niin sanottuja roiskeita, jotka täytyy poistaa mallista käsin.²⁷

3.2 Rakennuksen kunnon kartoitus

Vanhojen rakennusten kunnon elämistä on seurattava, jotta tiedetään ajoittaa korjaukset optimaaliseen ajankohtaan. Mikäli korjataan rakennusta liian aikaisin, uusittaville rakennusosille jää käyttämätöntä elinkaarta, jolloin rakennuksen elinkaaren aikaiset kustannukset nousevat. Liian myöhään korjattaessa vauriot voivat edetä ja vahingoittaa viereisiä rakenteita, joka nostaa myös osaltaan elinkaaren aikaisia kustannuksia. Hyvä esimerkki tällaisesta on vesikatto, mikäli sitä ei korjata riittävän ajoissa, saattaa se alkaa vuotamaan ja aiheuttaa kosteusvaurioita tai vesivahingon ylimmän kerroksen rakenteisiin. Ylimääräisten vaurioiden korjaaminen saattaa olla jopa kalliimpaa kuin itse korjausta vaativan rakennuksen osan korjaaminen olisi.²⁸

Rakennuksen kunnon seuraamiseen käytetään erilaisia menetelmiä, yleisimpiä näistä ovat kuntoarviot ja -tutkimukset. Kuntoarviota käytetään kokonaisten rakennusten kunnon arvioimiseksi ja tulevien korjaustarpeiden määrittämiseksi. Sitä käytetään yleensä

²⁶ Keskustelu Mika Konttilan kanssa 12.4.2021

²⁷ Keskustelua Maximilian Alopaeuksen kanssa 14.5.2021

²⁸ Korjausrakentaminen TX00BL88-3009: Korjausrak Luento1.pdf

kokonaisten kerrostalojen, taloyhtiöiden tai liikekiinteistöjen kunnan arviointiin. Kuntoarviossa rakennuksen tarkastelu tapahtuu pääasiassa aistinvaraisesti, eikä siinä juurikaan rikota rakenteita tai kerätä näytteitä. Kuntoarvion avulla tehdään ja päivitetään pitkän tähtäimen suunnitelma, jonka avulla korjauskustannuksia jaetaan ja optimoidaan rakennosien elinkaaren hyödyntäminen.²⁹

Kuntotarkastukset ovat suunnattu asuntokauppojen yhteyteen, se on myös aistinvarainen ja sen pääasiallinen tarkoitus on antaa kaupan osapuolille puolueeton kanta kaupan kohteesta.²⁸

Kuntotutkimukset ovat huomattavasti tarkempia rakennuksen kunnan arvioimismenetelmiä kuin kuntoarvio tai -tarkastus. Kuntotutkimukset kohdistetaan usein tiettyyn rakennosaan tai tiedossa olevaan ongelmakohtaan, toisin kuin aiemmin mainitut menetelmät, joita käytetään kokonaisuuden kunnan arviointiin ja tarkasteluun. Kuntotutkimuksissa joudutaan usein rikkomaan rakenteita, jotta saadaan selville pintojen takana olevat rakenteet ja niiden kunto. Kuntotutkimuksissa käytetään usein monenlaisia mittalaitteita ja muita apuvälineitä. Aistinvaraisten havaintojen lisäksi kerätään myös näytteitä, jotta saadaan varmistus havainnoille, eikä kaikkia asioita voida havaita pelkästään aistinvaraisesti.³⁰

3.3 Lähtötietojen hankinta korjaussuunnittelua varten

Korjausrakentamisessa ja sen suunnittelussa mittojen oikeellisuus ja merkitys ovat läpi hankkeen suuressa roolissa. Hankkeen alkuvaiheessa niiden perusteella lasketaan mahdollisten purettavien rakenteiden massat, joiden perusteella saadaan purkuvaiheen hinnat ennakoitua. Suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa mittojen perusteella taas määritellään hankittavat materiaalit ja arvioidaan niiden asentamiseen käytetty aika. Näillä tiedoilla saadaan arvioitua melko tarkasti rakentamisvaiheen kustannukset, mitä tarkemmin rakenteet ovat etukäteen tiedossa, sitä vähemmän työmaavaiheessa tulee yllättäviä rakennusvaiheita ja kustannuksia.^{31 32}

²⁹ Korjausrakentaminen TX00BL88-3009: Korjausrak Luento2.pdf

³⁰ Korjausrakentaminen TX00BL88-3009: Korjausrak Luento1.pdf

³¹ Keskustelu Mika Konttilan kanssa 12.4.2021

³² Keskustelua Maximillian Alopaeuksen kanssa 14.5.2021

Yksi tärkeimmistä lähtötiedoista korjausrakentamisessa on vanhat suunnitelmat, aina niitä ei ole saatavilla, mutta usein löytyy edes joltain aikakaudelta olevia suunnitelmia, joista saadaan tärkeää tietoa piilossa olevista rakenneosista. Etenkin vanhemmissa rakennuksissa on yleensä ehditty tekemään useampia korjaus- ja muutostöitä, eikä näistä kaikista ole aina dokumentteja saatavilla. Tällaisissa tapauksissa on etsittävä mahdollisimman paikkansa pitävät suunnitelmat ja luotettava niihin. Tarkastusmittauksilla ja rakeneavauksilla voidaan tarkastaa vanhojen suunnitelmien paikkansapitävyys.³³

Rakenteita voidaan mitata monella eri tavalla, pienemmissä hankkeissa pärjätään usein vanhoilla suunnitelmilla ja muutamilla tarkemittauksilla kohteessa. Pienemmät kohteet on helpompi hahmottaa, ja poikkeamat suunnitelmien ja nykytilanteen välillä havaita usein jo mittaus- tai suunnitteluvaiheessa. Haastavammissa ja suuremmissa kohteissa hahmottaminen vaikeutuu huomattavasti, ja silloin on tarpeen tukeutua teknologian tarjoamiin mittaustapoihin. Mittojen ja massojen lisäksi hintaan vaikuttaa suuresti korjausten laajuus ja laatu. Mikäli kohteessa käytetään valmisosia tai muita etukäteen työmaan ulkopuolella valmistettavia rakennusosia, on mittausvaiheessa oltava erittäin tarkka. Vääristynyt mittaus saattaa aiheuttaa suuria lisäkustannuksia, jos tilattu rakennusosa ei sovi suunnitellusti paikalleen ja sitä joudutaan muokkaamaan tai uusimaan kokonaan. Suurta mittatarkkuutta vaativissa projekteissa suositetaan tänä päivänä mallintamista ja kohteen keilaamista pistepilveksi joko laserkeilaimella tai fotogrammetrian avulla. Keilaustusta pistepilvestä saadaan kohteen inventointimalli, joka vastaa rakennuksen lähtötilannetta.³⁴

Inventointimallintamisella tarkoitetaan olemassa olevan rakennuksen nykytilanteen mallintamista. Sen lähtötietoina käytetään pistepilviä, vanhoja piirustuksia, muita dokumentteja, tarkemittauksia ja kuntotutkimusten aineistoja. Inventointimalli pitää sisällään muutakin, kuin näkyvät osat rakennuksesta. Sitä tehdessä joudutaan tyytymään olettamuksiin ja aiempiin kokemuksiin, sillä kaikkien rakennuksen osien sijainteja, kokoja ja laatuja ei voida todentaa purkamatta suuria osia pois rakennuksesta. Pistepilviaineiston perusteella saadaan tarkat mitat ja sijainnit näkyvistä rakenneosista, kuten seinien sijainnit ja lattiodien korot oikeille paikoilleen. Tämä nopeuttaa mallintajien työtä, eikä tarvita erillisiä mittauskäyntejä ainakaan näiden osuuksien osalta.³⁵

³³ Keskustelu Mika Konttilan kanssa 12.4.2021

³⁴ Korjausrakentamisen kustannuksia 2019, Rakennustieto Oy

³⁵ RT-103133 Rakennuksen laserkeilaus (luettu 11.5.2021)

Inventointimalli on siis rakennuksen nykytilanne, mutta kun sen perusteella aletaan mallintamaan esimerkiksi peruskorjausta rakennukseen, muuttuu se tietomalliksi. Tietomalliin suunnittelijat tekevät omat suunnitelmansa. Arkkitehti, rakennesuunnittelija, talotekniikkasuunnittelijat ja muut erikoissuunnittelijat ottavat inventointimallin suunnittelunsa alustaksi, suunnitelmat tehdään pääsääntöisesti yhteen ja samaan tiedostoon, jolloin vältetään päällekkäisyyksiltä.³⁶

³⁶ RT-103132 Fotogrammetrian käyttö rakennushankkeessa (luettu 11.5.2021)

4 Dronen käyttö korjaussuunnittelun tukena

Korjausrakentamisen suunnittelussa on haasteena usein monimuotoiset rakenteet, joita on vaikea dokumentoida ja hahmottaa. Osa rakenteista saattaa olla paikoissa, joihin ei ole pääsyä ilman nostinautoa. Tämänkaltaisissa haasteissa saadaan dronesta suurta apua, koska sillä päästään kuvaamaan vaikeasti tavoitettavat paikat usein melko pienellä vaivalla. Ilmasta käsin kuvattuna saadaan havainnollistavia kuvia rakennuksen muodosta, sillä joitain muotoja voi olla vaikea hahmottaa vain piirustuksia katsomalla. Drone toimii monessa tapauksessa apuvälineenä myös ulkovaipan kuntotutkimuksissa, markkinointikuvien ottamisessa tai esimerkiksi fotogrammetrisessä mallintamisessa.^{37 38}

4.1 Laitteisto

Dronella tarkoitetaan yleisesti kauko-ohjattavaa miehittämätöntä ilma-alusta, mutta sillä voidaan joissain tapauksissa tarkoittaa myös miehittämätöntä alusta, joka kulkee maalla tai vedessä. Tässä työssä dronella tarkoitetaan juuri miehittämätöntä ilma-alusta, jotka voidaan jakaa rakenteen mukaan kahteen selkeään luokkaan, siivellisiin lennokkeihin ja multikoptereihin. Siivellisillä aluksilla on etuna suuri nopeus ja pienempi energian kulutus, jonka takia ne soveltuvat paremmin laajojen alueiden kartoitukseen. Multikoptereiden etuna on sen sijaan tarkka ohjattavuus ja mahdollisuus lentää myös paikoillaan. Yksittäisten rakennusten kuvaamisessa multikopterin hyödyt siivelliseen lennokkiin verrattuna ovat selkeät, sillä usein on tarpeen saada kuvia myös lähempää kuvattavia pintoja. Dronen lentämisessä on omia termejään, joista osa on peräisin ilmailun parista ja osa kauko-ohjattavien lennokkien.³⁹

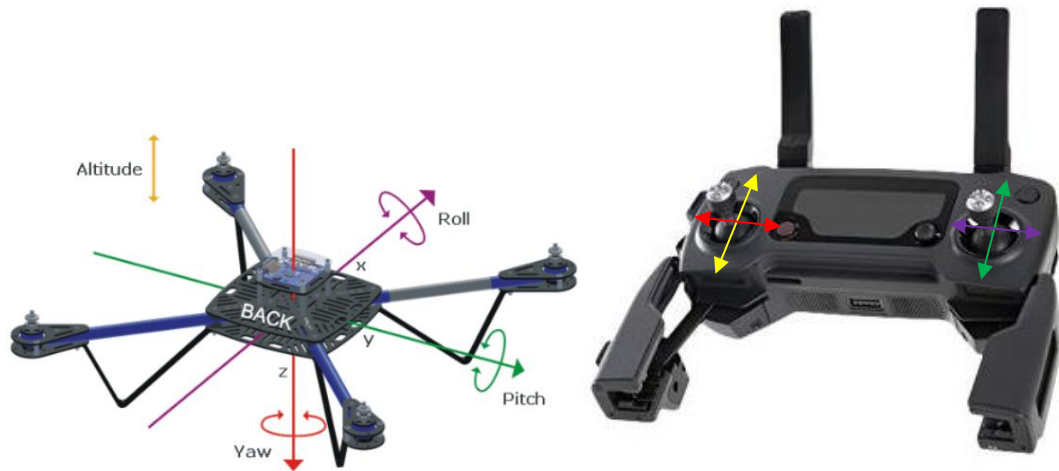
Multikopterit ovat pääasiassa nelimoottorisia, mutta joissain laitteissa moottoreita on enemmänkin. Jokainen moottori pyörittää vaakasuorassa olevaa roottoria, kaksi roottoreista pyörii myötäpäivään ja kaksi vastapäivään. Ohjaus tapahtuu kiihdyttämällä tai hidastamalla tiettyjä moottoreita, jolloin ei tarvita erillisiä ohjainsiipiä tai peräsimiä. Etumaisia moottoreita hidastamalla tai takimmaisilla kiihdyttämällä drone kallistuu eteenpäin (pitch), jolloin pyörivät siivekkeet vetävät dronea eteenpäin sen lisäksi, että ne pitävät sitä ilmassa. Symmetrisen muodon ansiosta sivuille (roll) lentäminen onnistuu täysin

³⁷Keskustelu Mika Konttilan kanssa 12.4.2021

³⁸Keskustelu Teemu Kuosmasen kanssa 7.4.2021

³⁹<https://www.droneinfo.fi/fi/itseopiskelumateriaalit-eu-asetuksen-mukaisesti-kauko-ohjaajan-kokeisiin>

vastaavalla tavalla. Kun taas halutaan kääntyä paikoillaan dronen keskipisteen ympärillä, kiihdytetään ristikkäisiä moottoreita, sillä ristikkäiset moottorit pyörivät samaan suuntaan. Lentokorkeuden säätäminen on ohjaustoimenpiteistä yksinkertaisin, kiihdytetään tai hidastetaan jokaista moottoria.⁴⁰



Kuva 5. Periaatekuva nelimoottorisen multikopteri ohjausperiaatteista. Ohjaimen oikeanpuoleista ohjainsauvaa käytetään dronen kallistamiseen sivuille sekä eteen- ja taaksepäin. Vasemmanpuoleista ohjainsauvaa käytetään taas lentokorkeuden säätämiseen sekä paikallaan pyörähtämiseen.⁴¹

Dronella valokuvatessa täytyy dronen hallinnan lisäksi hallita myös kameraa. Useimmissa droneissa kamera on gimbaalin eli vakaajan varassa. Vakaaja tasoittaa liikkeitä, jotta kuvaaminen onnistuisi paremmin, sen avulla kamera voidaan myös suunnata haluttuun suuntaan. Vakaajat perustuvat kardaaniin ripustukseen sekä gyroskooppeihin, näiden avulla voidaan vähentää kameran liikettä kaikilla kolmella akselilla.⁴²

⁴⁰ The drone camera handbook, Ivo Marloh, Keith Partridge

⁴¹ https://www.researchgate.net/figure/Drones-pitch-roll-and-yaw_fig2_329521700

⁴² Innovaatioprojekti Dronen käyttö kuntotutkimuksissa

4.2 Lainsäädäntö ja määräykset

Dronejen määrän kiihtyvä kasvaminen on johtanut siihen, että dronejen ja muiden lennokkien lentämistä on kontrolloitava tarkemmin. Lentoliikenteen kontrollointi on tarpeen, jotta vältetään onnettomuuksilta, jotka ilmailun parissa ovat lähes aina vakavia.⁴³

4.2.1 Nykyinen lainsäädäntö

Aiemmin laki erotteli ammattilentäjät ja harrastelentäjät. Uudessa, vuoden 2020 lopussa voimaan tulleessa laissa tämä erottelu poistettiin. Lain tarkoitus on lentoliikenteen kontrolloinnin lisäksi yhtenäistää EU:n sisällä tapahtuvaa dronen lennätystä ja vähentää epäselvyyksiä. Uuden lain myötä toiminta jaettiin avoimeen kategoriaan, erityiseen kategoriaan ja sertifioituun kategoriaan. Lähes kaikki tavanomainen lentotoiminta kuuluu avoimeen kategoriaan, jossa on kolme luokkaa A1, A2 ja A3.⁴³

A1 luokan painorajoitus dronelle on 900 grammaa ja lentäminen on sallittua yksittäisten ihmisten yli, mutta ei ihmisjoukoissa. Lentäjän on suoritettava verkkotentti, mikäli drone painaa yli 250 grammaa. Siirtymävaiheen jälkeen dronet CE-merkitään, A1 luokkaan kuuluvat C0 ja C1 merkityt laitteet. A2 luokan dronejen painoraja on 4 kg ja niillä on pidettävä turvallinen etäisyys ihmisiin vakavampien onnettomuuksien välttämiseksi. A2 luokan droneilla lennettäessä on suoritettava verkkotentin lisäksi valvottu lisäteoriakoe ja tätä luokkaa vastaava CE-merkintä on C2. A3 luokan dronet ovat maksimissaan 25 kg painavia ja niillä lentäminen on sallittu ainoastaan kaukana ihmisistä ja asutuksista. Lentolupaan riittää pelkkä verkkotentti ja luokkaa vastaavat CE-merkinnät ovat C2, C3 ja C4.⁴³

CE-merkitsemättömiä droneja koskevat hieman eri rajoitukset kuin uusia CE-merkittyjä. CE-merkitsemättömillä droneilla saa säädösten mukaan lentää vain 2022 vuoden loppuun asti. Tämän jälkeen niiden käyttöä rajataan lisää. Säännöt ovat lähes samat kuin CE-merkityillä, mutta painorajat ovat hieman pienemmät. Alle 250-grammaisista droneista saa käyttää A1 luokan ehtojen mukaisesti, ja näiden käyttöä saa jatkaa myös siirtymäajan jälkeen. Alle 500 grammaa painavia droneja koskevat samat säännöt, mutta käyttö on sallittua näillä ehdoilla vain siirtymäajan. Alle 2 kg painavan dronen käyttäminen edel-

⁴³ <https://www.droneinfo.fi/fi/eun-dronesaaannot>

lyttää verkkotentin lisäksi valvotun lisäteoriakokeen suorittamista ja niillä saa lentää vähintään 50 metrin vaakaetäisyydellä ihmisistä. Alle 25 kg droneja koskee samat säädökset kuin A3 luokkaa ja näin jatkuu myös siirtymäajan jälkeen.⁴⁴

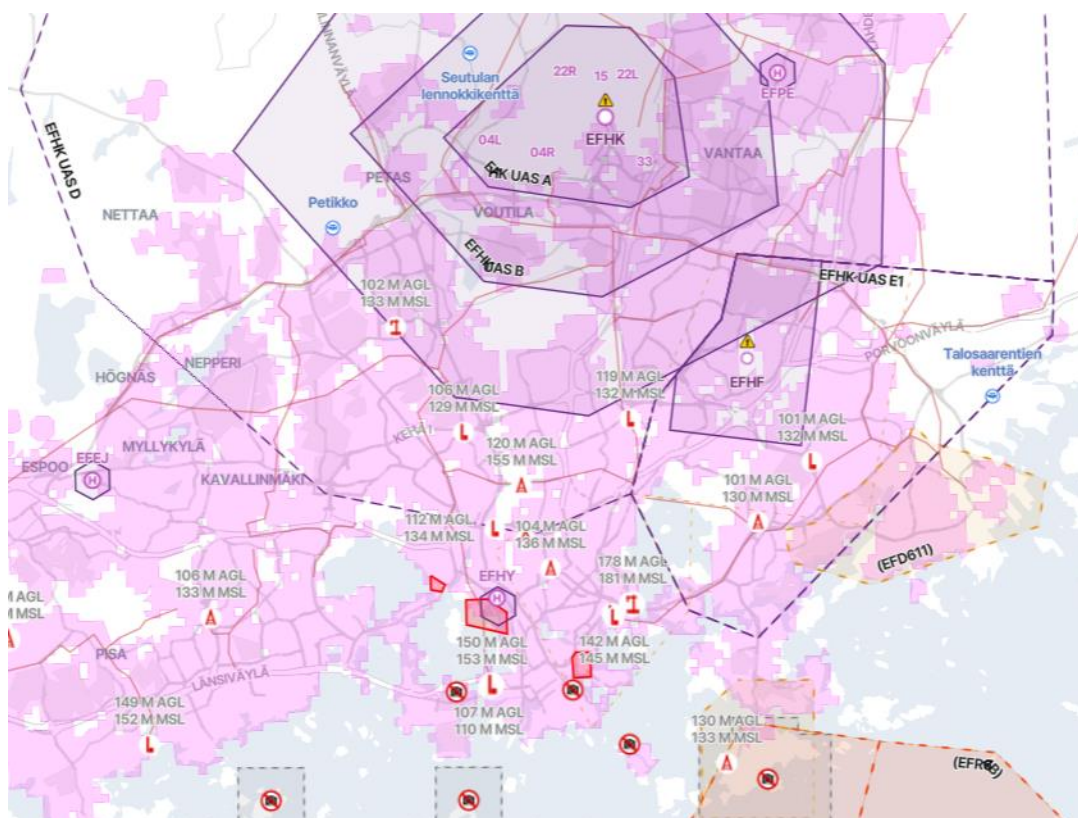
Erityinen-kategoriassa toimimiseen vaaditaan erillinen toimintalupa ja se haetaan joko EASA:lta tai Traficomilta. Sertifioitu-kategorian standardit ovat vielä julkaisematta, mutta se liittyy ihmisjoukkojen päällä lentämiseen ja ihmisten tai vaarallisten aineiden kuljettamiseen. Keskenäisyyden takia tähän kategoriaan ei voi vielä hakea lupaa.⁴⁵

Nykyään kaikki kameralliset ja kaikki yli 250 grammaa painavat dronet on rekisteröitävä SkyNavX palveluun, joka on Traficom ja Fintrafficin ylläpitämä palvelu. Väkijoukkojen yläpuolella lentoa tulee välttää, vaikka olisi suoritettunakin kaikki vaadittavat kokeet. Lisäteoriakokeen vaatimus astuu voimaan vuoden 2021 lopussa.⁴⁵

Maksimi lentokorkeus ilman erityislupaa on nykyään 120 metriä entisen 150 metrin sijaan. Lentokenttien läheisyydessä on omat rajoituksensa lentokorkeuksien osalta.⁴⁵

⁴⁴ <https://www.droneinfo.fi/fi/eun-dronesaannot>

⁴⁵ <https://www.traficom.fi/fi/ajankohtaista/uusi-dronelaki-voimaan-vuodenvaihteessa-mika-muuttuu> (luettu 25.3.2021)



Kuva 6. Kuvakaappaus Aviamaps palvelusta.⁴⁶

Lentokenttien läheisyydessä on tavallisesti alueet, joiden läheisyydessä ei saa lentää lainkaan ilman lennonjohdon lupaa. Tämä alue on kuvassa 5. merkitty EFHK UAS A alueena Helsinki-Vantaan lentokentän ympärillä, tämän kehän ulkopuolella on UAS B alue, jossa saa lentää esteiden vieressä 50 metrin etäisyydellä vaakatasossa, korkeussuunnassa esteen saa ylittää korkeintaan 15 metrillä. UAS B alueen ulkopuolella on UAS C, jossa saa lentää korkeintaan 50 metrin korkeudessa ilman erityislupaa. UAS D alueella saa lentää ilman erityislupaa 120 metrin korkeuteen, joka on niin sanottu normaali maksimi lentokorkeus.⁴⁷

Aviamapsin palvelussa punaisella merkatut alueet ovat lentokieltoalueita, kuten valtion hallinnollisia rakennuksia, sairaaloita tai esimerkiksi ydinvoimaloita. Lentokieltoalueille voidaan hakea lentolupaa Traficomilta, lupaa on haettava 2 viikkoa etukäteen. Luvan hinta on 180 euroa, mutta sen voi hakea kerralla jopa kahdeksi kuukaudeksi kerrallaan, eli yhdellä luvalla voidaan kuvata useampi kohde kerralla. Esimerkiksi EFP50 Kruunuhaan alueella myönnetyn luvan lisäksi on pyydettävä lupa ennen lentoa sekä tasavallan

⁴⁶<https://aviamaps.com/map?drone#p> (luettu 14.5.2021)

⁴⁷<https://www.traficom.fi/fi/ajankohtaista/uusi-dronelaki-voimaan-vuodenvaihteessa-mika-muutuu> (luettu 25.3.2021)

presidentin turvallisuusvartiostosta, että valtioneuvoston valvomosta. Nämä ovat aluekohtaisia lisävaatimuksia luvulle.^{48 49}

Lentäjän vastuulla on aina ottaa selvää, onko alue, jossa aiotaan lentää lentokieltoaluetta. Pysyvien rajoitusten lisäksi saattaa olla myös väliaikaisia rajoituksia, jotka on tarkastettava ennen lennon aloittamista.⁵⁰

Dronella lentäminen ulkomailla on lainsäädäntöjen osalta vielä melko vaihtelevaa. Joissain maissa lait ovat todella tiukat, joten niistä kannattaa ottaa aina selvää etukäteen välttyäkseen sanktioilta.⁵⁰

4.2.2 Lentoturvallisuus

Dronea lennettäessä on huomioitava paljon asioita, on alueita, joilla ei saa lentää lainkaan ilman erityislupaa, joten aina ennen lentoa on tutustuttava ympäristöön. Kiellettyjen alueiden lisäksi lentoa voi rajoittaa ilmatilassa tapahtuva liikenne, kuten lentokoneet, helikopterit tai muut dronet. Lennon aikana on seurattava itse dronen lisäksi myös ympäröivää ilmatilaa tarkkaan.⁵¹

Lentoturvallisuudessa isossa osassa on sää, vain harva drone kestää sadetta. Sateella lentäminen saattaa aiheuttaa vaaratilanteita, mikäli drone vaurioituu ja tippuu maahan. Vesisade, sumu ja lumisade heikentävät näkyvyyttä, joka on lentäjän tärkein apuväline dronen hallintaan. Näköyhteyden (VLOS) on säilyttävä aina koko lennon ajan, sitä ei saa haitata sääolosuhteiden lisäksi myöskään kiinteät esteet kuten rakennukset. Näköyhteyden pitäminen pimeässä riittävän hyvänä on haasteellista dronejen pakollisista omista valoista huolimatta. Kovalla tuulella lentäminen on riskialtista, puuskat saattavat heiluttaa dronea automaatiosta huolimatta paljonkin ja tuuli kuluttaa akunvarausta, jolloin takaisin lähtöpisteeseen lentäminen ei välttämättä onnistukkaan. Valmistajat ilmoittavat droneilleen maksimituulenopeuden, jota on noudatettava. Talvella lennettäessä on huomioi-

⁴⁸<https://aviamaps.com/map?drone#p> (luettu 14.5.2021)

⁴⁹Traficom, Lupaehdot EFP50, Kruunuhaka

⁵⁰<https://www.droneinfo.fi/fi/eun-dronesaannot>

⁵¹<https://www.droneinfo.fi/fi/itseopiskelumateriaalit-eu-asetuksen-mukaisesti-kauko-ohjajaan-kokeisiin>

tava pakkasen vaikutus akkujen kestävyys ja tarkkailtava mahdollista jään muodostumista potkureihin tai dronen muihin osiin. Sääennustetta on hyvä tarkkailla ennen lentoa, ettei haastavat sääolosuhteet pääse yllättämään ja aiheuttamaan vaaratilanteita.⁵²

Kauko-ohjaajan suorituskyvyn on oltava hyvä, tämä tarkoittaa sitä, ettei lentäjällä saa olla liikaa häiriötekijöitä lennon aikana. Myös stressi heikentää keskittymistä, eikä liian stressaantuneena ole hyvä lentää dronea. Stressiä voi aiheuttaa meluisa tai vilkas ympäristö, liian suuri lentonopeus, kiire tai väsymys. Alkoholien, muiden päihteiden tai lääkkeiden alaisena ei saa koskaan lentää dronea, ilmailussa on nollatoleranssi näiden suhteen. Pidempää lentoa on syytä tauottaa, jotta keskittymiskyky pysyy hyvänä ja vältetään virhearvioita. Harjoittelun myötä lentämisestä tulee helpompaa ja varmempaa.⁵²

⁵²<https://www.droneinfo.fi/fi/itseopiskelumateriaalit-eu-asetuksen-mukaisiin-kauko-ohjaajan-kokeisiin>

4.2.3 Yksityisyys

Dronella voi kuvata monia eri asioita vaivatta ja huomaamatta, mutta on tärkeää tiedostaa mitä kaikkea on sallittua kuvata tai levittää. Kuvaamista niin maasta kuin ilmasta käsin koskee EU:n yleinen tietosuoja-asetus (GPDR). Asetusta noudattaakseen on hyvä aloittaa kuvaaminen vasta niin korkealla, ettei yksittäisiä ihmisiä voida kuvasta tai videosta tunnistaa. Lentäminen on suositeltavaa rauhallisina aikoina, niin yksityisyydensuojan takia kuin lentoturvallisuudenkin takia. Julkisella paikalla kuvaaminen on Suomessa pääsääntöisesti sallittua, mutta pihojen tai kotien kuvaaminen on kielletty, sillä se rikkoo yksityisyydensuojaa. Omaan käyttöön kuvia saa ottaa hieman vapaammin verrattuna yleiseen jakoon laitettaviin kuviin. Puolustusvoimien kohteiden kuvaaminen on lähes poikkeuksetta kiellettyä, mutta aiheellisella syyllä on tähän mahdollista hakea lupaa.⁵³

Lain vaatiman yksityisyydensuojan lisäksi on hyvä ottaa huomioon yleiset käytöstavat ja ilmoittaa lennosta etukäteen lähistöllä olevilla tahoille.⁵³

4.3 Valokuvaaminen dronella

Dronejen kamerat ovat pääsääntöisesti automatisoituja ja helppokäyttöisiä, sillä lennetäessä samaan aikaan olisi melko vaikeaa, jos jokaiseen valokuvaan olisi säädettävä kaikki asetukset kohdilleen. Automatiikka onkin tärkeä apuväline, mutta sen toimintaan ei voi täysin luottaa, sillä aika ajoin sekin pettää. Yleisin asia kuvatessa, jota joutuu säätämään manuaalisesti, on valotuksen aste. Ulkona kuvatessa on haasteena auringon terävä ja kirkas valo ja tähän kontrastina tulevat tummat varjot. Tämän saa usein korjattua säätämällä valotusastetta. Ylivalottuneiden kuvien ns. puhki palaneet kohdat pilaavat mallituksen siinä missä tähtäneetkin kuvat. Liian tummia kuvia voidaan usein korjata jälkikäteen tietokoneella, mutta puhki palaneita kohtia ei voida korjata kunnolla. Kirkkaat peltikatot ovat myös haastavia, sillä ne heijastavat pelin tavoin auringonvaloa. Puhki palaneet kohdat valokuvissa jättävät malliin reikiä pilaten sen.⁵⁴

⁵³<https://www.droneinfo.fi/fi/itseopiskelumateriaalit-eu-asetuksen-mukaisiin-kauko-ohjaajan-kokeisiin>

⁵⁴Haastattelu fotogrammetriasta, Janne Hirvonen, Tietoa Oy

Kuvaus on parasta tehdä hieman pilvisellä säällä, koska silloin valojen ja varjojen kontrastit eivät ole niin suuret. Pilvisellä säällä on kuitenkin varmistuttava riittävästä valon määrästä, jottei kuvista tule heilahtaneita. Sää on valokuvauksessa merkittävä tekijä, valoisuuden lisäksi valokuvien laatuun vaikuttaa luonnollisesti sumuisuus, pintojen kosteus ja esimerkiksi lumen määrä. Lumi peittää talvella kattoja, joten niiden kuvaus ei lähtökohtaisesti silloin onnistu. Lumi hankaloittaa myös muutoin kuvaamista, sillä se vaikeuttaa sopivan valotusasteen löytämistä.⁵⁵

Haastateltaessa Janne Hirvosta fotogrammetriaan liittyen hän korosti onnistuneiden valokuvien olevan tärkein tekijä hyvin mallien luomisessa. Hirvonen on lentänyt dronella jo vuodesta 2013 ja tekeekin työkseen dronekuvauksia ja fotogrammetrisia malleja.⁵⁵

4.3.1 Valokuvaus käsikäyttöisellä kameralla

Fotogrammetriaa varten voidaan kuvata, vaikka kaikki valokuvat käyttäen normaalia käsikäyttöistä kameraa. Vesikattoa kuvatessa tämä ei ollut tarpeen, mutta mikäli mallinnettaisiin koko rakennuksen ulkovaippa, olisi maata lähellä olevat osuudet helpompaa kuvata maasta käsin. Maasta kuvatessa pätee samat periaatteet kuin dronella kuvatessa, mutta käsin kuvatessa on enemmän resursseja käyttää kameran asetusten optimointiin. Fotogrammetrian onnistumisen kannalta on suositeltavaa käyttää kameraa, jossa on kiinteä objektiivi, jotta polttoväli pysyy jokaisessa kuvassa samana. Mikäli kuvia otettaessa käytetään optista zoomausta, muuttuu polttoväli eikä tietokone pysty täten laskemaan etäisyyksiä valokuvista.⁵⁶

Mallin luomista ajatellen olisi hyvä käyttää ohjelmiston tukemaa kameraa, jotta linssin aiheuttama virhe saadaan minimoitua. Valokuvamallin kasaamisen keventämiseksi on tärkeää, että kameran sijainti saataisiin taltioitua valokuvan metatietoihin mahdollisimman tarkasti. Tärkein apuväline tässä on kameran oma GPS, sen lisäksi sijainnin tarkentamiseen käytetään samoja kohdistustarroja kuin dronella kuvatessa. Myös käsikäyttöisellä kameralla kuvatessa on hyvä käyttää referenssipisteitä. Käsin kuvatessa tulee usein kuvattua lähempää kuin dronella, jolloin referenssipisteiden tärkeys korostuu, ettei samankaltaiset kohdat sekoitu mallia kasatessa.⁵⁷

⁵⁵ Haastattelu fotogrammetriasta, Janne Hirvonen, Tietoa Oy

⁵⁶ <http://www.digitaalikuvaus.com/kasitteet> (luettu 3.4.2020)

⁵⁷ The drone camera handbook, Ivo Marloh, Keith Partridge

4.3.2 Valokuvaaminen markkinointia varten

Tehtaankadulla sijaitsevaan kiinteistöön suunnitellaan ullakkoasuntoja vesikattokorjauksen yhteydessä. Merenläheisen sijainnin ja rakennuksen korkeuden takia ullakkoasunnot kyseiseen kohteeseen tarjoavat vaikuttavat merinäköalat. Todellista ikkunanäkymää voidaan käyttää asuntojen markkinoinnissa parantamaan myyntiä. Näköalojen kuvaamisen lisäksi samalla lennolla oli hyvä taltioida vesikaton nykytilanne suunnittelun tueksi.

58

Visualisointia on mahdollista tehdä perinteisiä valokuvia muokkaamalla, lisäämällä kuvanmuokkausta käyttäen rakennukseen, vaikka ullakkoasuntoja, tai kokonaisia kerroksia. Yksittäisiä kuvia muokkaamalla on kaikki muutokset tehtävä jokaiseen valokuvaan, mutta jos kohteesta tehdään mallinnus, voidaan muutokset toteuttaa siihen kerralla ja saada mallista renderöimällä realistisia hahmotelmia tulevasta lopputuloksesta.⁵⁹



Kuva 7. Valokuva tulevien ullakonikkunoiden korkeudesta markkinointia varten.

⁵⁸ Keskustelu Jyrki Jallin kanssa kohteiden lähtötilanteen dokumentoinnista 2.3.2020

⁵⁹ Keskustelu Mika Konttilan kanssa 12.4.2021

4.3.3 Kohteiden valokuvaaminen korjaussuunnittelun tueksi

Korjausrakentamisessa on usein haasteena vajanaiset, puuttuvat tai virheelliset lähtötiedot. Suunnittelijoiden täytyy monesti perustaa suunnitelmansa vanhoihin suunnitelmiin, jotka eivät monesti pidä paikkaansa. Näiden tueksi ei oikein ole saatavilla kuin valokuvia tai itse paikan päällä tehtyjä luonnoksia. Tavanomaisella kameralla kuvatessa tulee usein kuvattua pienempiä yksityiskohtia, ja havainnollistavat yleiskuvat jäävät ottamatta. Yleiskuvien ottaminen unohtuu havaintojen mukaan usein, ja laadukkaiden yleiskuvien ottaminen esimerkiksi vesikatosta on käytännössä mahdotonta ilman dronea tai muuta erikoiskalustoa. Yleiskuviin on käytännöllistä merkitä esimerkiksi korjausalueita tai tehtyjä havaintoja, se on monessa tapauksessa havainnollistavampi kuin pohjakuva.^{60 61}



Kuva 8. Yleiskuva Myyrmäen kirkosta. Suurempia rakennuksia olisi mahdotonta saada kuvattua yleiskuviin maasta käsin kuvattuna.

⁶⁰ Keskustelua Maximillian Alopaeuksen kanssa 14.5.2021

⁶¹ Keskustelu Mika Konttilan kanssa 12.4.2021

4.4 Kuntotutkimus ja dronen hyödyntäminen niissä

IdeaStructura Oy hankki dronen kuntotutkimusten tueksi alkuvuodesta 2020, dronen tarjoamista mahdollisuuksista kuntotutkimuksiin liittyen tehtiin keväällä 2020 innovaatioprojekti. Innovaatioprojektin tarkoitus oli tarpeisiin sopivan dronen kartoittaminen, sekä määrittellä minkä tyyppisiin toimeksiantoihin sitä on mahdollista hyödyntää.⁶²

Julkisivujen kuntotutkimuksissa on usein haasteena rakennuksen ympäristön ahtaus, maaperän pehmeys tai esimerkiksi tontin kaltevuus, jolloin nostinauton petaaminen tällaisiin paikkoihin ei vain ole mahdollista tai järkevää. Tämän kaltaisissa kohteissa dronen käyttö on havaittu hyödylliseksi. Ennen dronen hankintaa haastaviin, mutta mahdollisiin paikkoihin mentiin nostinautolla, tällaiset haastavat nostot vievät paljon aikaa, ja siten nostavat tutkimusten kokonaishintaa asiakkaan näkökulmasta.⁶²

Yksinään dronella ei voida julkisivujen kuntoa tutkia, sillä fyysiset havainnot jäävät silloin havaitsematta. Jos päästään tutkimaan nostimelta edes osa rakennuksesta, voidaan loput julkisivut melko suurella varmuudella tarkastaa dronea käyttäen ja verrata nostimelta tehtyjä havaintoja dronella tehtyihin havaintoihin. Tarvittavat näytteet on kerättävä ainakin toistaiseksi nostokorista, mutta sen sijaan dronella saadaan otettua julkisivusta laadukkaita valokuvia. Dronella otettujen valokuvien on huomattu olevan lähes poikkeuksetta laadullisesti parempia kuin nostinautosta kameralla otetut. Laatua huomattavasti suurempi ero tulee kuvien kuvakulmasta ja siitä, että osia julkisivusta ei jää dronella epähuomiossa kuvaamatta.^{62 63}

⁶² Keskustelu Teemu Kuosmasen kanssa 7.4.2021

⁶³ Haastattelu fotogrammetriasta, Janne Hirvonen, Tietoa Oy

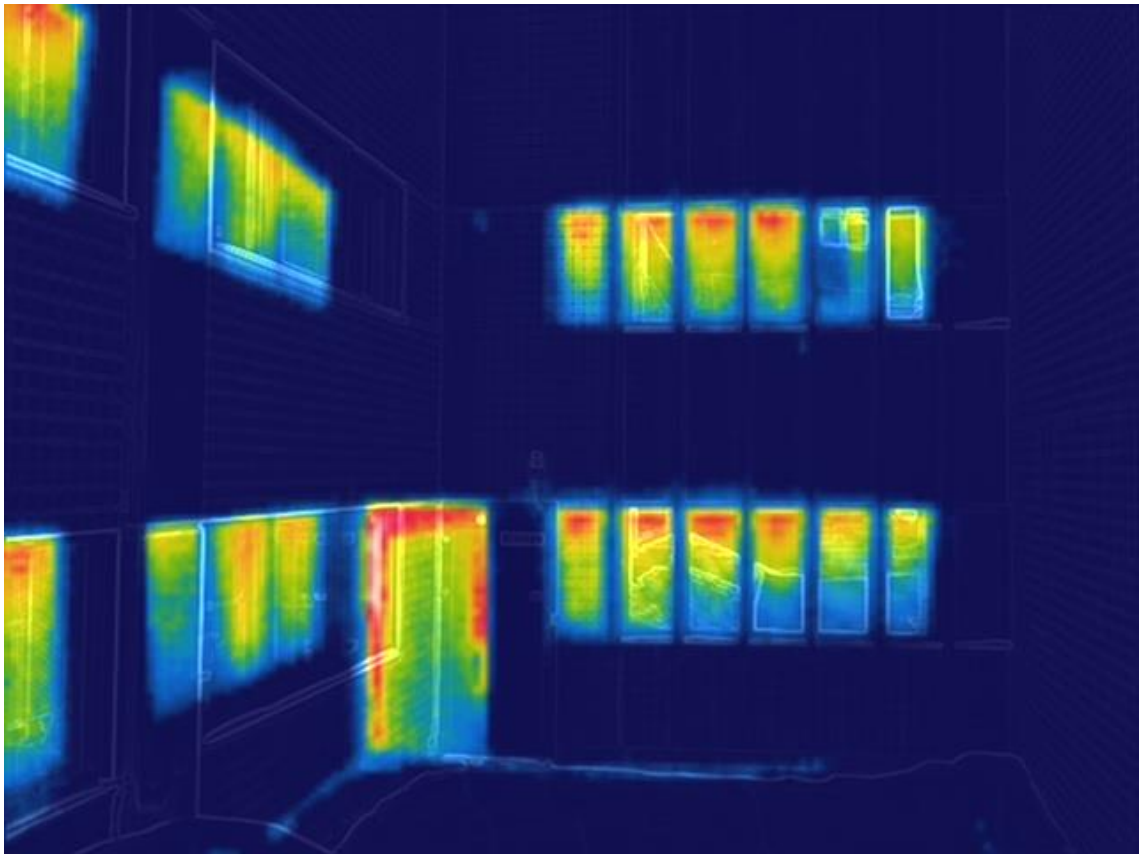


Kuva 9. Yleiskuva rakennuksen julkisivusta. Dronella saadaan kattavampia yleiskuvia, kuin nostimelta tai maan tasalta.

Hankitussa dronessa on myös lämpökamera mutta, sen käyttöä ei ole tosi tarkoituksessa kovin runsaasti päästy vielä kokeilemaan. Lämpökameran käyttö luotettavasti edellyttäisi syvempää perehtymistä lämpökuvauksen saloihin, kuten materiaalien heijastavuuksiin, sään vaikutukseen ja kuvauskulman vaikutukseen. Teoriassa ainakin lämpökameralla voidaan havaita julkisivuista kosteat alueet, heikommin eristetyt kohdat ja paikalliset lämpövuodot.^{64 65}

⁶⁴ Keskustelu Teemu Kuosmasen kanssa 7.4.2021

⁶⁵ Mika Konttilan pitämä yrityksen sisäinen lämpökuvaukoulutus 2020



Kuva 10. Lämpökuva rakennuksen julkisivusta.

5 Case: Meritullinkatu 6 mallinnus korjaussuunnittelua varten

Kruunuvuoressa, Meritullinkatu 6 sijaitsee 1870-luvulla valmistunut U-muotoinen kerrostalo, johon on suunnitteilla vesikattoremontti ja sen yhteydessä yhden portaikon kattoa korotetaan, jotta sen rakenteet saadaan vastaamaan nykyisiä palomääräyksiä. Vesikaton materiaalina toimii peltikate.

Tavoitteena oli luoda fotogrammetrisesti käyttökelpoinen pistepilvi, jonka perusteella kohteesta voidaan tarvittaessa luoda lähtötietomalli myöhempiä suunnitteluita varten.

Tavoitteena oli saada käyttökelpoinen 3D-malli tukemaan suunnittelua ja toimimaan pistepilvimallin tavoin tietomallintamisen pohjana tarpeen tullen. 3D-mallin lisäksi tavoitteena oli luoda mittatarkka 2D tasokuva vesikatosta ja mahdollisuuksien mukaan 2D julkisivukuvat.

5.1.1 Valmistelut

Meritullinkatu sijaitsee lentokieltoalueella, johon täytyy anoa lentolupaa Traficomilta. Lentolupa oli haettava vähintään kaksi viikkoa ennen itse lentoa, Traficomien luvan lisäksi oli varmistettava presidentin kansliasta ja valtioneuvoston valvomosta sopiiko lento näille tahoille juuri ennen lennon aloittamista. Viereinen rakennus, eli Meritullinkatu 8 on sosiaali- ja terveysministeriö. Myös vastapäinen rakennus on valtion virastorakennus, opetus- ja kulttuuriministeriö. Näiden ja alueen muiden virastorakennusten takia valtioneuvoston valvomosta kyseltiin harvinaisen tarkasti lennon syytä ja tällä kertaa heille piti toimittaa Traficomien myöntämä lentolupa.

Erikoistoimenpiteiden lisäksi oli tehtävä normaali lentoilmoitus Aviamaps-palveluun, jotta muut ilmailevat tahot tietävät lennosta alueella ja osaavat täten varoa. Lentokieltoalueen takia DJI:n oma palvelu vielä varmisti lentäjältä, että tietää lentävänsä lentokieltoalueella ja ottaa lennosta täyden vastuun.

Ennen lentoa oli haettava huoltoavain kiinteistöön, jotta saatiin pääsy ullakolle ja sitä kautta vesikatolle. Vesikatolle kiinnitettiin kohdistustarroja tasaisin välein, jotta voitiin valmiista mallista mitata mittojen oikeellisuus.



Kuva 11. Referenssitarrana käytetty 50x70mm tarra. Kaksivärisyys helpottaa keskikohdan näkemisen kauempaakin otetuista kuvista.

Kohdistustarroja liimattiin katon harjan tuntumaan 2 metrin välein. Niitä laitettiin jokaiselle harjalle 6–18 kappaletta. Samoja kiintopisteitä voitiin käyttää Reality Capture -ohjelmassa käsin määriteltynä kiintopisteinä. Referenssipisteiden avulla vältetään samanlaisena jatkuvissa kohdissa siltä, että ohjelmisto luulee eri kohtia samaksi kohdaksi ja näin ollen lyhentää mallia. Niitä on hyvä käyttää myös mittakaavan tarkastamiseen, jos niiden keskinäinen etäisyys on tiedossa.



Kuva 12. Katolle kiinnitettiin kohdistustarroja 2 metrin välein harjan tuntumaan jokaiselle katon osalle, jotta jälkikäteen on mahdollista tarkastaa mallinnuksen mittojen tarkkuus.

5.1.2 Tavoitteet

Vesikaton korjausta varten oli tarkoitus kuvata koko vesikatto nykytilanteessaan ja näiden kuvien perusteella luoda vesikatosta 3D-mallinnus ja tätä kautta myös mittatarkka tasokuva suunnittelua varten. Vesikatosta ei ollut saatavilla lainkaan paikkaansa pitäviä suunnitelmia tai tasokuvaa, jonka perusteella suunnittelun olisi voinut toteuttaa. Pääasiallisena tavoitteena oli siis vesikattokorjausta ajatellen helpottaa suunnittelua ja luoda vähintään suuntaa antava tasokuva vesikatosta.

Samalla heräsi ajatus siitä, miksi ensiksi tehdä nykyaikainen 3D-mallinnus vesikatosta ja sen hyödyntämisen sijaan muuttaa se heti takaisin kaksiulotteiseksi vanhanaikaiseksi suunnitelmaksi. Tästä ajatuksesta lähdettiin myös tarkentamaan opinnäytetyön aihetta.

5.1.3 Lento ja dokumentointi

Kohteen kuvauslento kesti noin 4 tuntia, josta valmisteluihin ja muihin säätöihin meni lähes puolet. Haasteeksi osoittautui nopeasti hämärtyvä ilta, joka vaikeutti tarkkojen valokuvien ottamista lennon loppuvaiheessa. Tavoite oli saada kuvattua koko vesikatto riittävän tarkasti, sillä uuden kuvauspäivän järjestely olisi ollut jälleen melko työlästä erikoislupineen ja taloyhtiön kanssa sopimisten kanssa. Vesikatolle oli runsaasti erilaisia kattotuulettimia ja muita haastetta lisääviä rakenteita, joiden takia oli kuvattava huolellisesti joka suunnasta välttääkseen kuvaamattomia katvealueita. Tällaiset kuvaamattomat alueet jättävät 3D-malliin tyhjiä aukkoja.



Kuva 13. Dronekuva Meritullinkadun vesikatosta, katolla on runsaasti kuvausta sekä suunnittelua vaikeuttavia pienehköjä kattotuulettimia ja muita ulokkeita.

Lennon olisi voinut lentää myös maan tasolta, mutta viereisen rakennuksen katolla oli sopiva paikka ohjata dronea. Maantasolta lennettäessä näköyhteyden pitäminen voi tuottaa haasteita vesikattoa lähempää kuvattaessa. Sen lisäksi katolle oli mentävä joka tapauksessa kiinnittämään kohdistus tarrat.

Lento sujui lähes ongelmitta. Jatkoa ajatellen hyviä kuvausolosuhteita kannattaa tarkkailla enemmän, vaikka hämärtyvää iltaa lukuun ottamatta kuvaus sää olikin todella hyvä kuvauksen suorittamiseen.

5.1.4 Otettujen kuvien läpikäyminen

Valokuvia tietokoneen ruudulta tarkasteltaessa paljastui osa niistä hieman tärähtäneiksi. Viimeisten kuvien aikaan olisi täytynyt lentää hitaammin ja pysähtyä pidemmäksi aikaa kuvaa otettaessa, jotta olisi välttytty tärähtämiseltä. Tärähtäneet kuvat pilaavat fotogrammetriamallituksen, joten ne ovat täysin käyttökelvottomia ja täten ne piti poistaa. Kokonaisuudessaan kuvia tuli noin 500, joista hyödynnettäviä oli noin 400 kuvaa.

5.1.5 Fotogrammetrisen mallin kasaaminen

Mallin kasaaminen tietokoneella oli ylivoimaisesti työläin ja aikaa vievin osuus koko työssä. Ohjelmista paljastui useampi erilainen tapa tuottaa 3D-malli kuvatusta kohteesta. Samalla löytyi karttojen tekemiseen luotu toiminto, jolla sai tehtyä suhteellisen pienellä vaivalla mittatarkan 2D-kuvan, joka on koottu otetuista valokuvista. Tämän luominen oli yllättävänkin vaivatonta.



Kuva 14. Esikatselulaadulla tehty fotogrammetrinen malli. Mallin tarkkuus on vielä heikko, mutta se on selvästi tunnistettava ja tämmöisenäänkin helpottaa kohteen hahmottamista.

Kolmiulotteisia malleja luodessa haasteita sen sijaan riitti enemmänkin. Mallin luominen aloitetaan joka tapauksessa kuvien lataamisella Reality Capture -ohjelmaan. Tämän jälkeen kuvat täytyy asemoida, eli ohjelmisto etsii kuvienottopaikat käyttäen kuvien metatassa olevaa GPS-koordinaattia ja kuvassa näkyviä erottuvia kohtia, joista se luo kiintopisteitä. Tämä toimenpide osoittautui todella raskaaksi jopa mallinukseen käytettävälle tehokkaalle pöytäkoneelle. Tehokkaalta mallinnuskoneelta tähän meni noin 1,5 tuntia, tavallisella työkannettavalla operaatio ei edes onnistunut, vaan ohjelmisto kaatui.

Kun valokuvien sijainnit on määritelty, tulee samalla näkyviin läpikuultava pistepilvimalli kuvatusta rakennuksesta. Seuraavaksi pistepilven perusteella on luotava malli, jossa on yhtenäiset pinnat. Ohjelma luo siis pistepilven pisteiden väleihin pieniä kolmioita eli niin sanotun Mesh-mallin, jolloin 3D-malliin saadaan aikaan pinnat. Fotogrammetrian etuna on se, että pinnoille voidaan liittää myös kuvamateriaalia, joka tulee automaattisesti kuvatussa. Näin siis saadaan malliin värit, jotka helpottavat hahmottamista. Kiinteän mallin luominen on myös todella raskasta ja hidasta. Parasta laatua ei päästy edes kokeilemaan, sillä tehokaskin mallinnustietokone kaatui tätä yritettäessä. Melko hyvällä laadulla saatiin jo tuloksia aikaan, tosin suhteellisen hitaasti. Pintojen luominen kesti tietokoneelta jälleen noin 1,5 tuntia. Kyseessä oli kuitenkin pelkkä vesikatto, eikä koko rakennus.



Kuva 15. Fotogrammetrinen mallinnus vesikatosta, mallin tekemiseen on käytetty noin 400 valokuvaa. Oranssit viivat kuvaavat kameran sijaintia kuvanottohetkellä.

Mikäli pistepilven tai mallinluomisen jälkeen erehtyi säätämään mallia, pyrkien parantamaan sitä tavalla tai toisella, oli lopputulos usein se, että koko malli joko kaatui tai se meni selittämättömällä tavalla käyttökelvottomaksi. Tämän myötä havaittiin, että on tärkeää tallentaa tuotoksesta kopioita eri työn vaiheissa, sillä raskaita toimenpiteitä ei voinut tavalliseen tapaan vain kumota CTRL+Z toiminnolla.

5.1.6 Eri tekniikoilla toteutettujen tasokuvien vertailu

Reality Capturessa on useita eri reittejä tehdä kuvatusta kohteesta fotogrammetrinen malli. Ylivoimaisesti helpoin havaittu tapa on käyttää Map Wizard -komentoa, toiminto vaikuttaa hieman muita tapoja automatisoidummalta eikä täten tarvitse niin syvää tuntemusta ohjelma kaikkiin asetuksiin. Map Wizard -komennon etuihin kuuluu se, että mallinnettavan alueen voi rajata suoraan kartasta, jolloin vältytään muilla keinoilla törmätyyn ongelmaan, jossa ohjelmisto mallintaa ensiksi vain pienen, noin kuution kokoisen osan rakennuksesta.

Kolmantena etuna tällä komennolla vesikatosta saa vaivatta kaksiulotteisen tasokuvan. Jostain syystä 3D-malli sekä tasokuva muodostuivat tällä komennolla hieman vinoon, jolloin hormit ja julkisivut näkyvät tasokuvassa hieman vääristyneenä.



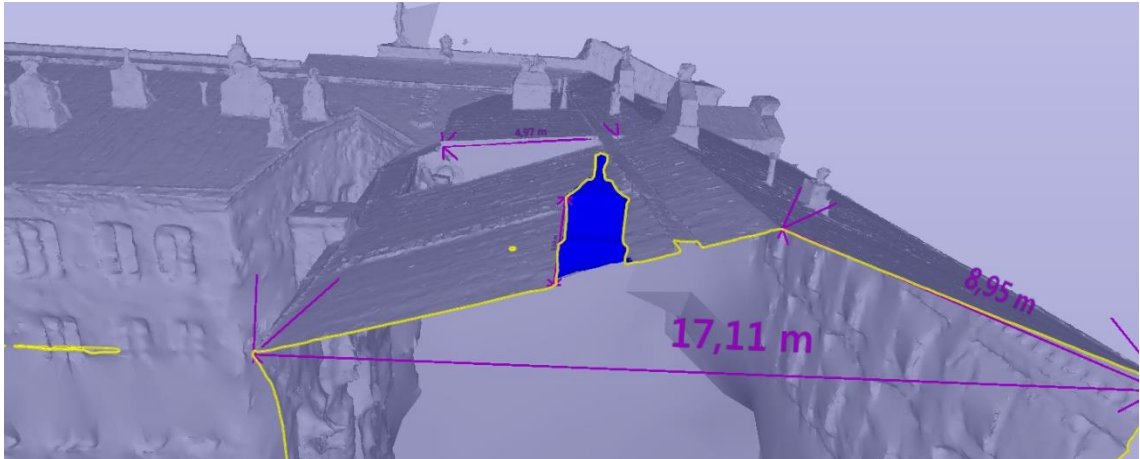
Kuva 16. Map Wizard toiminnolla tehty 2D-tasokuva vesikatosta. Tuntemattomasta syystä vesikatto ei ole aivan suorassa, vaan hormien kyljistä ja julkisivuista näkyy osa viistosti.

Vesikatolle liimatuista referenssitarroista tarkistusmitattuna suurin mittaheitto 2 metrin matkalla on noin 10 mm. Tarrojen sijainneissa on saattanut olla pientä heittoa, sillä niiden sijainnit mitattiin rullamittaa käyttäen. Referenssitarrojen etäisyyksistä, kaikilla kolmella katon osalla mitattuna mittatarkkuuden pitäisi olla samaa luokkaa, keskiarvoltaan ~5 mm. Työturvallisuuden takia referenssitarrat asennettiin kulkusiltojen välittömään läheisyyteen. Vasta jälkikäteen havaittiin, että niitä olisi kannattanut asentaa sekä kattolapteen ala- sekä ylälaitaan

5.1.7 Hyödyntäminen käytännössä

Kyseinen vesikatto on melko tavanomainen, eikä siinä ole erityisen haastavia muotoja. Vesikattojen korjaussuunnitteluun erikoistuneen asiantuntijan mukaan tämän kaltaisissa tai vielä helpommissa kohteissa kokeneet peltiseipät tekevät koko vesikaton ongelmitta,

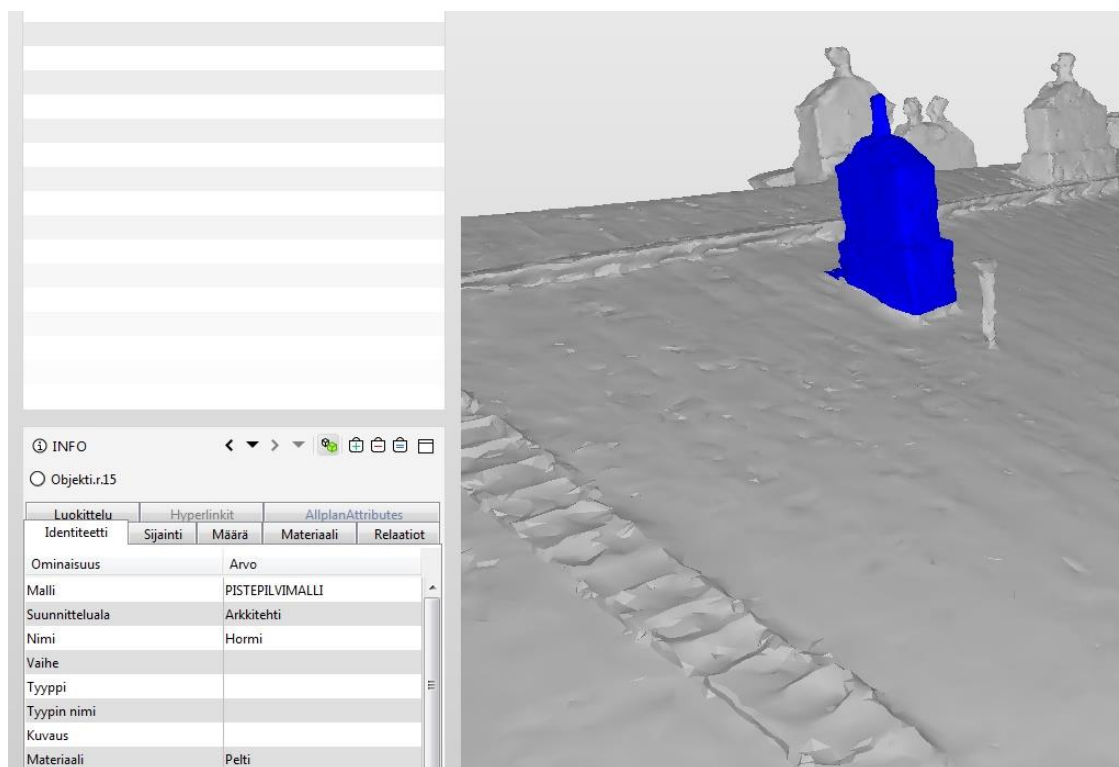
vaikka ilman kunnollisia suunnitelmia. Tämän kaltaisissa 3D-suunnittelu on tarpeettoman raskas lähestymistapa. Dronekuvauksella ja fotogrammetrialla toteutetulla 2D-tasokuvalla voidaan kuitenkin korvata puuttuvia suunnitelmia, 2D-tasokuvan perusteella voidaan helposti piirtää AutoCadilla vesikaton tasokuva puhtaaksi. Tasokuvan lisäksi tuotetusta 3D-valokuvamallista saadaan tarkastettua kaikki rakennuksen kattokulmat suunnittelun tueksi.⁶⁶



Kuva 17. Kevyemmstäkin mallista saadaan tarkastettua mittoja, usein todelliset mitat selviävät vasta työmaavaiheessa, ja toteutus tehdään niiden mukaan.

Hankkeissa, joissa koko kohteen 3D-mallintaminen ei ole tarpeen, vaan riittää kevyemmät 2D-suunnitelmat, on tämän kohteen kaltaisesta hieman kevyemmästä mallista suurta apua mittojen, kulmien ja muotojen tarkastukseen. Tarkkuuden ei tällöin tarvitse olla millimetrituokkaa. Kevyempi, ilman takymetreilla mitattuja referenssipisteitä tehty mallinnus on melko nopea prosessi tehdä, eikä se vaadi kovin paljoa enempää työtä, kuin vesikaton valokuvaaminen dronella.

⁶⁶ Puhelinkeskustelu Päivi Kaariahon kanssa 23.4.2021



Kuva 18. Pistepilvimalli on mahdollista pilkkoa erillisiin objekteihin.

Fotogrammetrialla tehty malli voidaan pilkkoa, mikäli malli ei ole liian raskas itsessään käsiteltäväksi. Kun malli jaetaan objekteihin, voidaan jokainen osa nimetä ja määrittää sille erilaisia arvoja. Kuvan kaltaiset hormit ja kattotuulettimet voidaan tyypittää suoraan malliin, jolloin saadaan suoraan listaus niiden menekistä. Pilkkomista voidaan käyttää myös alueiden jakoon, kuten sen perusteella mihin alueelle tulee harvalaudoitusta kattopellin alle ja mihin umpilaudoitusta. Tätä voidaan käyttää kustannuslaskennan lisäksi myös työmaavaiheessa alueiden osoittamista varten.⁶⁷

Tarkan, kokonaisvaltaista tietomallintamista varten tehtävä fotogrammetria on paljon työläämpi ja raskaampi toimenpide. Sen toteutukseen kuluisi moninkertaisesti aikaa ja resursseja. Tasokasta inventointimallia varten on lähes ehdotonta, että käytetään takymetrillä määriteltäviä referenssipisteitä. Tarkemman valokuvamallin luominen vaatii myös tehokkaan tietokoneen ja syvempää perehtymistä fotogrammetriaohjelmistoihin.

⁶⁷ Keskustelua Maximillian Alopaeuksen kanssa 14.5.2021

5.1.8 Yhteenveto prosessista

Mallintamisvaiheessa havaittiin onnistuneiden kuvien tärkeys lopputuotteen kannalta, tämän lisäksi huomattiin se, että valokuvia olisi hyvä olla vieläkin enemmän. Noin 500 valokuvalla saavutettiin melko hyvä tarkkuus, mutta vesikatolle jäi silti muutamia katvealueita, joissa mallinnuksen tarkkuus jäi suhteellisen heikoksi. 3D-mallia pyöriteltäessä tarkemittojen tärkeys korostui, sillä vaikka vesikatto näytti mallissa oikeanlaiselta, ei voitu varmistua jokaisen mitan paikkaansa pitävyydestä.

Kaksiulotteisen tasokuvan luominen kohteesta onnistui lopulta jopa oletettua helpommin. Yksinkertaisissa kohteissa, jossa lähtötiedot ovat puutteelliset voidaan pärjätä pelkällä kaksiulotteisella tasokuvalla.

Kolmiulotteisen mallin luomissa on hyvä perehtyä käytettävään ohjelmistoon vielä perusteellisemmin esimerkiksi opastusvideoiden avulla, jotta vältetään turhalta työltä ja aikaa vieviltä kokeiluilta. Kiintopisteiden määrittäminen valokuvista osoittautui tärkeäksi, mutta hitaaksi toimenpiteeksi käsin tehtynä. Mikäli kohteessa olisi käytetty takymetrillä mitattuja kiintopisteitä, olisi mittojen oikeellisuudesta saatu suurempi varmuus ja koko mallinnuksen mittatarkkuus olisi ollut parempi.

Prosessi vaatii hyvää laatua haettaessa tehokasta tietokonetta, tavanomaisella työkannettavalla saadaan tehtyä vain heikkolaatuisia mallinnuksia. Mallinnusprosessi tehtiin mallinnuskäyttöön suunnatulla tietokoneella, josta löytyy RAM-muistia 48 GB, Intel i9 prosessori ja NVIDIA Quadro RTX 4000 näyttöohjain 8 GB muistilla. Vaikka tietokone on huomattavan tehokas tavanomaista käyttöä ajatellen, ei sen tehot riittäneet korkeatasoisen fotogrammetrisen mallin luomiseen, vaan jouduttiin tyytymään keskitasoiseen malliin.

6 Vaiheittainen ohje vesikaton mallinnukseen

Rakennuksen vesikaton mallintaminen fotogrammetrisesti korjaussuunnittelua varten. Alla vaiheittaiset ohjeet mallintamisen tekemiseksi hyödyntäen dronea ja Reality Capture -ohjelmistoa.

6.1 Sopivan tarkkuustason määrittäminen kohde kohtaisesti sopivaksi

Riittävän tarkkuustason määrittäminen erityyppisiin hankkeisiin on tärkeää ja melko haastavaa. Tarkkuustason vaatimuksesta olisi hyvä tehdä lisää kartoitusta, jotta vältetään ylimääräiseltä työltä. Ylimääräistä työtä aiheuttaa liian tarkan mallin tekemisen lisäksi se, jos mallin tarkentamista varten joudutaan tekemään uudet kuvaukset.

Sopivan tarkkuustason löytäminen edellyttää suunnittelijoiden kuulemista ja palautetta jo tehdyistä hankkeista. Kohteissa, joissa rakennuksesta tehdään tietomalli, tarkkuuden on oltava mahdollisimman hyvä, jotta kaikki mitat saadaan oikein ja pintamallin perusteella voidaan mitoittaa jopa valmiina tilattavia rakenneosia kuten IV-koneita. Tämänkaltaisissa kohteissa on noudatettava yleisiä tietomallivaatimuksia ja mielellään pyrittävä vielä parempaan tarkkuuteen.

Pienemmissä hankkeissa suunnitelmat tehdään usein edelleen 2D maailmassa, jolloin tarkkuudeksi kohteesta riippuen voi riittää esimerkiksi 100 mm tarkkuus. Joskus kohteesta on paikkansa pitävät suunnitelmat, joista saadaan suurin osa mitoista, mutta muodot saattavat olla niin monimutkaiset, että niiden hahmottaminen 2D tasokuvasta on lähes mahdotonta. Tällöin heikompi tasoisempikin 3D malli auttaa hahmottamaan rakennuksen muotoja niin suunnittelu- kuin urakointivaiheessakin.

Lähtötilanteen taltioinnissa museosuojeltuja kohteita korjattaessa tärkeintä ei taas ole välttämättä tiettyjen mittojen oikeellisuus, vaan kokonaisuuden taltioiminen ennen urakkaa. Näissä muotojen ja värien oikeellisuus on tärkeää. Usein vanhoissa kohteissa on käsin tehtyjä koristeita, joiden taltioiminen muutoin on haastavaa, tähän dronella tehty fotogrammetrinen mallintaminen voi tarjota helpotusta. Mallinnuksen perusteella koristeista voidaan tulevaisuudessa tehdä muotit esimerkiksi 3D tulostinta hyödyntäen ja koristeet voidaan tehdä täysin alkuperäistä vastaavaksi.

6.2 Käyttötarkoituksen kartoitus

Ensimmäinen vaihe on selvittää mallin käyttötarkoitus ja siltä vaadittu tarkkuustaso, vaaditulla tarkkuustasolla on suuri merkitys myöhempisiin vaiheisiin. Toki myöhemmässäkin vaiheessa voidaan tarkentaa mallia parantamalla kuvien tarkkuutta, määrää ja lisäämällä referenssipisteiden sijainteja. Jälkikäteen tehtynä tämä tosin lähes kaksinkertaistaa projektiin käytetyn ajan, joten on hyvä saada vaadittu tarkkuustaso heti tietoon.

Lopullisen mallin vaadittu tarkkuus vaikuttaa huomattavan paljon aiempien vaiheiden vaatimaan työmäärään, jos tehdään vain kevyt malli helpottamaan kohteen hahmottamista ja kenties arkkitehdin visualisoinnin pohjaksi, pärjätään hyvin ilman referenssipisteitä. Tällöin ei ole välttämättä tarpeen päästä edes käymään vesikatolle. Mikäli valokuvamallia käytetään tarkoitukseen, jossa sen on oltava mahdollisimman mittatarkka. Täytyy vesikatolle kiinnittämään referenssipisteitä, joiden koordinaatit ovat tarkasti tiedossa. Referenssipisteiden mittaaminen tehdään takymetrillä, mittauspalvelua tarjoaa moni mittausalan yritys. Mittatarkkuutta vaaditaan hankkeissa, joissa katolle tilataan esimerkiksi esivalmistettu IV-kone tai muu vastaava etukäteen valmistettava tuote tai rakennusosa.

6.3 Lennon ja kuvauksen suunnittelu

Käyttötarkoituksen ja vaaditun tason selvittyä, on hyvä tutustua kohteeseen vähintään karttapalveluiden kautta, jotta lentäjä saa käsityksen kohteen monimuotoisuudesta ja laajuudesta. Samalla on syytä tarkastaa Aviamaps-sovelluksesta tai <https://aviamaps.com/map?drone#p> alueella vallitsevat ilmatilarajoitukset. Rajoituksia voi olla pysyvien kieltoalueiden lisäksi myös väliaikaisia ilmatilavarauksia muun alueen ilmailun takia. Mikäli kuvattava kohde sijaitsee lentokieltoalueella, on tässä vaiheessa syytä hakea lentolupaa alueelle Traficomilta. Lupaa hakiessa on hyvä muistaa, ettei dronella voida lentää esimerkiksi sateessa, joten lupaan on hyvä ilmoittaa hieman pidempi aikaikkuna kuvausta varten. Suunnitteluvaiheessa on hyvä ottaa selvää lentorajoitusten lisäksi muut lupa-asiat. Muita virallisia lupahakemuksia ei ole, mutta kuvauslennosta on hyvä ilmoittaa vähintään kuvattavan rakennuksen käyttäjille ja isännöitsijälle. Riippuen viereisistä rakennuksista voi olla hyvä tehdä heillekin ilmoitus lennosta, sillä drone aiheuttaa monissa ihmetystä. Mikäli lennetään yli 250 grammaa painavalla dronella, on lentäjällä oltava voimassa oleva drone ajokortti.

Lupien ja ilmoitusten lisäksi on syytä ottaa selvälle kohteessa kulkeminen, täytyykö huoltoyhtiöltä hakea avain kulkemista varten ja onko vesikatolla työskenneltäessä tarpeen käyttää turvavaljaita tai tehdä muita erikoisjärjestelyitä.

6.4 Valmistelut kohteessa ennen lentoa

Kuvattavassa kohteessa valmistelut kannattaa tehdä huolella, vaikkei niitä olisi paljoa ja ne olisivat pieniä. Lento- ja kuvausvaiheessa kannattaa muutoinkin kaikki toimenpiteet suorittaa työhön tarkasti keskittyen ja varmistuen kaikkien vaiheiden toteutumisesta halutulla tarkkuudella.

Kulkemisen onnistumisen varmistuttua voidaan mennä hyvää työturvallisuutta noudattaen vesikatolle, johon päästään kiinnittämään referenssipisteitä. Vaaditusta tarkkuudesta riippuen referenssipisteet voidaan joko kiinnittää itse, ilman täkymetrimittausta tai ne voidaan laittaa mittausammattilaisen toimesta. Mikäli katolle joudutaan menemään referenssipisteiden takia, on samalla hyvä tarkastella sen muotoja ja mahdollisia haasteellisempia kohtia. Tällaisia voivat olla eritasoiset katot, jos esimerkiksi ylemmän kattotason räystääs menee alemman katon päälle. Tämänkaltaiset haastavat kohdat on kuvattava mahdollisimman perusteellisesti, sillä muutoin niiden kohdalle jää mallinnukseen aukkoja tai epätarkkoja alueita.

Omiin muistiinpanoihin on hyödyllistä kirjoittaa muistiin joitakin mittoja katolta, jotta voidaan jälkikäteen tarkastaa mallinnuksen mittatarkkuus ainakin jollain tasolla.

6.5 Kuvauslento

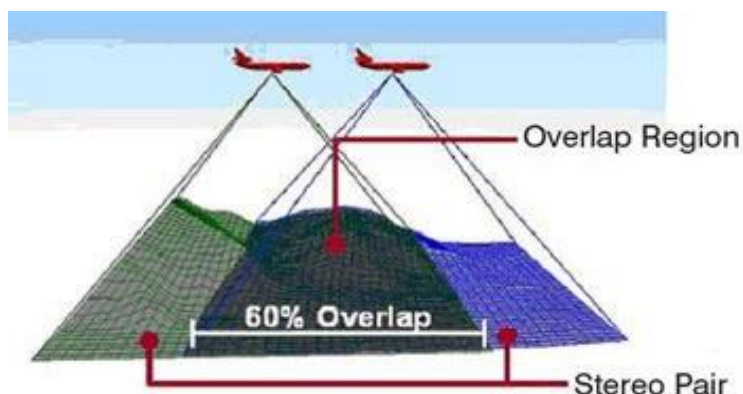
Ennen lentoa nousua on tehtävä ilmoitus lennosta Aviamaps-sovellukseen tai <https://aviamaps.com/map?drone#p>. Mikäli ollaan lentokieltoalueella, täytyy lennosta yleensä ilmoittaa vielä ennen sen aloitusta alueen viranomaisille tai lennonjohdolle. Esimerkiksi Kruunuvuoren EFP50 alueella nämä tahot ovat Tasavallan presidentin kanslia sekä Valtioneuvoston valvomo. Luvan ehdot käyvät ilmi Traficommin myöntämästä luvasta. Ennen lentoa nousua on hyvä varmistaa, että dronessa on muistikortti sisällä, tämä helpottaa kuvien siirtämistä tietokoneelle todella huomattavasti. Samalla kannattaa

tarkastaa dronen yleinen lentokunto sekä kameran asetusten oikeellisuus. Valotus ja muut kuvausasetukset on hyvä säätää ennen ensimmäisiä kuvia kohteeseen ja olosuhteisiin sopiviksi.

Lento on hyvä aloittaa ottamalla kohteesta muutama yleiskuva, sekä suoraan ylhäältä päin että yläviihosta. Näillä saadaan mallin tekemistä varten kuvat, joissa näkyy koko kohde. Tämän lisäksi yleiskuvat ovat valokuvinkin havainnollistavia ja monikäyttöisiä ajatellen suunnittelua ja esimerkiksi raportointia. Kuvia kannattaa ottaa mieluummin reilusti liian paljon kuin liian vähän, osa kuvista epäonnistuu kuitenkin suurella todennäköisyydellä, varsinkin jos olosuhteet eivät ole optimaaliset tai alkaa hämärtymään kuvauksen loppua kohden. Lisäkuvien ottaminen taas vaatii monen työvaiheen uudelleen tekemistä. Vaadittu valokuvien määrä riippuu täysin vesikaton monimuotoisuudesta ja koosta. Jos puhutaan normaalikokoisesta kerrostalon vesikatosta, jossa on kuitenkin muotoja sen verran, että fotogrammetria on tarpeen suunnittelua varten, on vaadittava valokuvien määrä lähellä 1000 kuvaa. Myös yksityiskohtaisuuden vaatimustaso määrittää valokuvien määrää huomattavasti, yksinkertaisesti mitä enemmän valokuvia, sitä tarkempi 3D-malli. Monimuotoisempiin kohtiin on hyvä muistaa keskittyä, sillä niiden onnistunut mallintaminen vaatii enemmän yksityiskohtaisia valokuvia kuin tasainen vesikaton lape.

Yleiskuvien ottamisen jälkeen kannattaa kuvata kohde hieman etäämmältä lentäen sen ympäri, jos katto on useammassa tasossa tai se on jyrkkä harjakatto kannattaa tehdä alempi ja ylempi kehä rakennuksen ympäri. Tämän jälkeen on hyvä tehdä ylilentoja vesikaton yli, ottaen samalla valokuvia alaviistoon. Kuvia kannattaa esteiden määrän mukaan ottaa metrin tai korkeintaan kolmen metrin välein. Ylilentoja kannattaa tehdä vähintään jokaisen katon sivun suunnasta, jos vesikatto on monimuotoisempi saattaa olla syytä tehdä ylilentoja myös viistosti, nurkasta nurkkaan tyyliisesti. Kameran kulmaksi 45° on melko varma valinta, mutta harkintaa on hyvä käyttää. Riippuen hormien ja muiden esteiden määrästä välillä on hyvä ottaa kuvia myös suoraan ylhäältä alaspäin, kun taas paikoin loivassa kulmassa otetuista kuvista on enemmän hyötyä. Jos katolla on tornirakenteita tai selvästi muita korkeampia kohtia, on ne hyvä kuvata erikseen kiertäen osa ja ottaen kuvat jokaisesta suunnasta erikseen. Korkeampien kohtien vierustoille jää helposti katvealueita, jotka johtavat epätarkkuuteen tai vääristymiin 3D-mallissa. Tärkeintä on kuitenkin muistaa se, että koko vesikaton ala on kuvattu, mielellään myös hieman alemmaksi räystäiden mallinnuksen varmistamiseksi.

Mikäli käytössä on referenssipisteitä, on hyvä varmistua niiden näkyvyys mahdollisimman useassa kuvassa, kaikkiin kuviin niitä ei saa näkyviin eikä se ole tarkoituskaan. Sopiva lentokorkeus vesikaton korkoon nähden vaihtelee noin kahdesta metristä noin kymmeneen metriin. Detaljeja varten voi olla tarpeen lentää lähemmäs kohdetta.



Kuva 19. Havainnollistava kuva kuvien päällekkäisyydestä. ⁶⁸

Kuvia otettaessa on tärkeää muistaa fotogrammetrian peruseikat, kuvien on oltava osittain päällekkäisiä, jotta ohjelmistot pystyvät löytämään niistä yhteiset kiintopisteet ja siten laskemaan etäisyydet. Sopiva kuvien päällekkäisyys on jotain 50 %-80 % välillä, tässäkin on parempi käyttää mieluummin liian suurta päällekkäisyyttä, kun liian pientä, jolloin mallin laatu kärsii. Vaadittu päällekkäisyys vaihtelee sen mukaan, kuinka paljon kuvattavalla pinnalla on pinnan muotojen ja värien vaihtelua. Mitä enemmän pinnalla on vaihtelevaa tekstuuria, sitä pienempi päällekkäisyys riittää. Alle 50% se ei kuitenkaan voi olla, koska silloin jää kohtia, jotka esiintyvät vain yhdessä kuvassa. Kuvia otettaessa edellä mainittu järjestys ei ole mitenkään pakollinen tekniikan takia, mutta on hyvä ottaa tietty toimintatapa käyttöön ja pyrkiä saamaan tekemiseen rutiineja. Näin vältetään inhimillisiltä unohduksilta ja ajatuskatkoilta.

Kun on varmuudella kuvattu koko kuvattava alue riittävää kuvien päällekkäisyyttä käyttäen ja monimuotoisemmat kohdatkin on taltioitu käyttöön sopivalla tarkkuudella, voidaan lento lopettaa. Normaalikokoisen kerrostalon vesikaton kuvaamiseen menee vaaditusta tarkkuustasosta ja kohdatuista haasteista riippuen yhdestä neljään tuntia. Mikäli

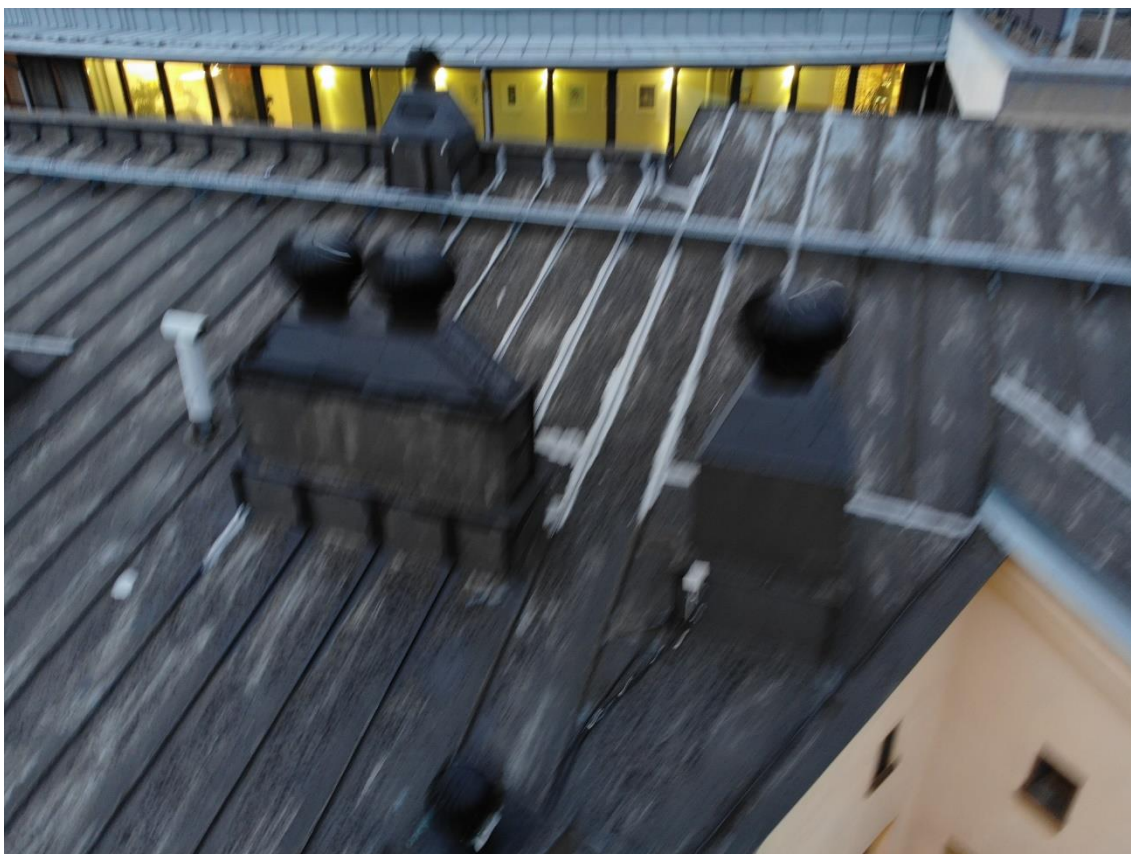
⁶⁸ <https://www.indiamart.com/proddetail/digital-photogrammetry-6370012091.html>

on käytetty referenssitarroja, voidaan ne useissa tapauksissa jättää vesikatolle mahdollisia myöhempiä lentoja varten. Jos tarrat on poistettava jostain syystä, on suositeltavaa tehdä se vasta jälkikäteen, kun on varmistuttu onnistuneiden kuvien riittävästä määrästä.

6.6 Kuvien läpikäyminen

Kuvia voidaan tarkastella jo kohteessa ohjaimen liitettävää älypuhelinta käyttäen, mikäli on epäily niiden epäonnistumisesta olosuhteiden tai asetusten takia. Tässä vaiheessa on vielä vaivatonta jatkaa lentoa ja ottaa tarvittava määrä kuvia lisää. Helpoin tapa siirtää otetut valokuvat tietokoneelle niiden tarkastelua ja myöhempää käyttöä varten on ottaa dronen muistikortti ja asettaa se tietokoneeseen. Mikäli valokuvat ovat tallentuneet dronen omaan muistiin asetusten tai muistikortin puuttumisen takia, joudutaan kuvat siirtämään ensin ohjaimen liitetyn älypuhelimien kautta. Tällöin dronen on oltava käynnissä ja yhdistettynä ohjaimen. Kuvat ladataan galleriasta valitsemalla halutut valokuvat ja valitsemalla lataa kuvat. Tästä kuvat siirretään jälleen eteenpäin tietokoneelle.

Tässä vaiheessa valokuvat ovat tietokoneella tai serverillä, kannattaa ne käydä yksitellen läpi, työvaiheena tämä on hidas, mutta tärkeä. Epäonnistuneet kuvat huonotavat valokuvamallin laatua. Kaikki tähtäneet, ylivalottuneet tai muutoin epätarkat valokuvat kannattaa poistaa tai siirtää toisaalle. Mikäli kuvien valotus on jäänyt hieman tummaksi, voidaan niitä muokata valoisammiksi parhaan tuloksen saavuttamiseksi. Kuvia läpikäydessä on hyvä pyrkiä saamaan käsitys kuvatusta alueesta ja mahdollisista katveeseen jääneistä kohdista.



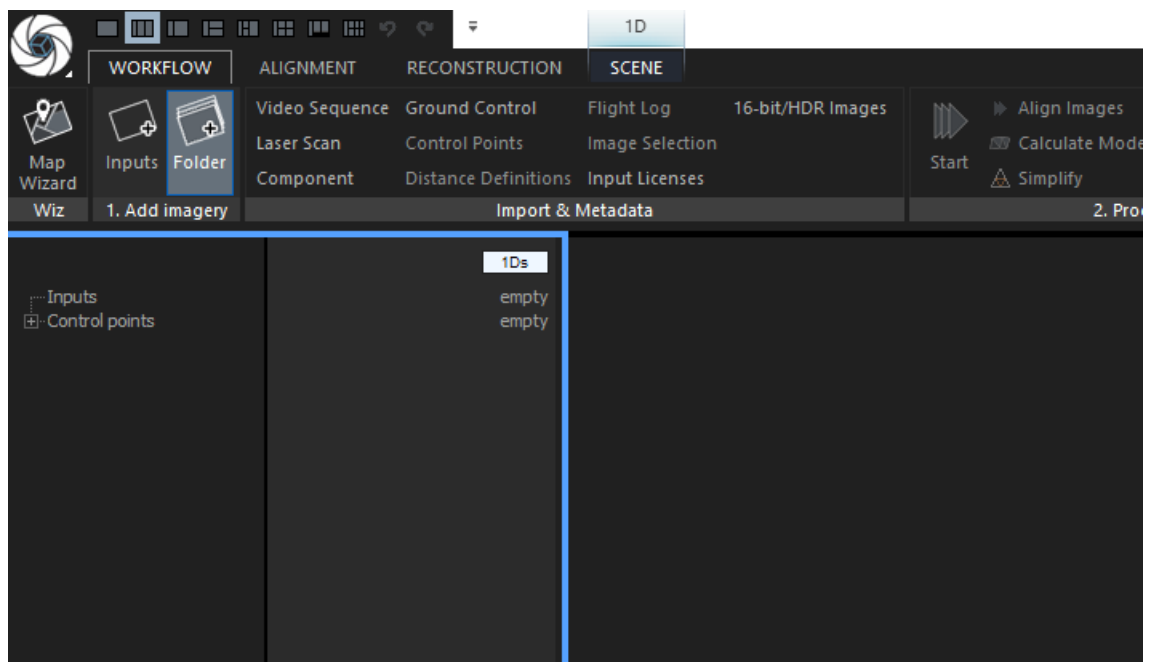
Kuva 20. Esimerkki valokuvasta, joka on kelvoton fotogrammetriaa ajatellen, heilahtaneet kuvat huonontavat mallin laatua ja hidastavat tietokoneen mallinnusprosessia.

DJI Mavic 2 Enterprise ottaa aina kaksi kuvaa kerralla siinä olevan lämpökameran takia. On ehdottoman tärkeää muistaa poistaa nämä pienemmän resoluution kuvat, asetuksista riippuen ne saattavat olla normaaleja valokuvia tai lämpökuvia. Huonon resoluution takia ne heikentävät tehtävän fotogrammetrisen mallin laatua ja täten ovat lähinnä harmiksi. Jos kuvaus on tehty lämpökuvauksen kannalta otollisissa olosuhteissa, eli viileällä säällä ilman auringonpaistetta voidaan kuvia mahdollisesti käyttää lämpövuotojen etsimiseen, muutoin niillä ei ole käyttöarvoa.

Onnistuneet ja optimaalisiksi muokatut kuvat kannattaa laittaa erilliseen kansioon, jotta niiden valitseminen on myöhemmissä vaiheissa vaivatonta.

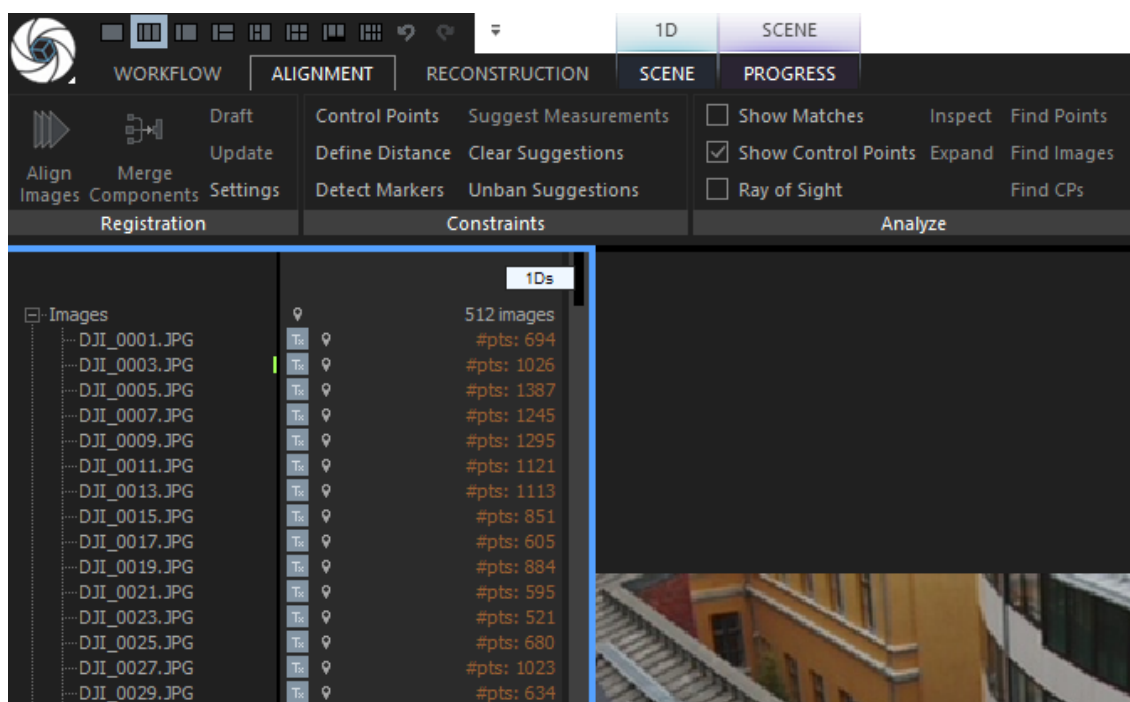
6.7 Kuvien vieminen Reality Capture ohjelmistoon

Reality Capture ohjelmiston saa ladattua ilmaiseksi koneelleen osoitteesta: <https://www.capturingreality.com/DownloadNow> Ohjelmiston käyttäminen on ilmaista, mikäli valitsee Pay-Per-Input sopimusmuodon. Tällä ohjelmaa saa käyttää maksutta, niin kauan, kunnes haluaa ladata tekemänsä 3D-mallin toiseen ohjelmaan. Rekisteröitymisen ja asennuksen jälkeen avataan ohjelma ja päästään lataamaan otetut valokuvat Reality Captureen.



Kuva 21. Aloitusnäkyä Reality Capture ohjelmasta.

Kun valokuvat on aiemmin laitettu yhteen kansioon, voidaan ne valita Workflow välilehdellä olevalla Folder komennolla. Täältä aukeaa tiedostonhallinta, josta etsitään haluttu kansio ja ladataan kuvat.



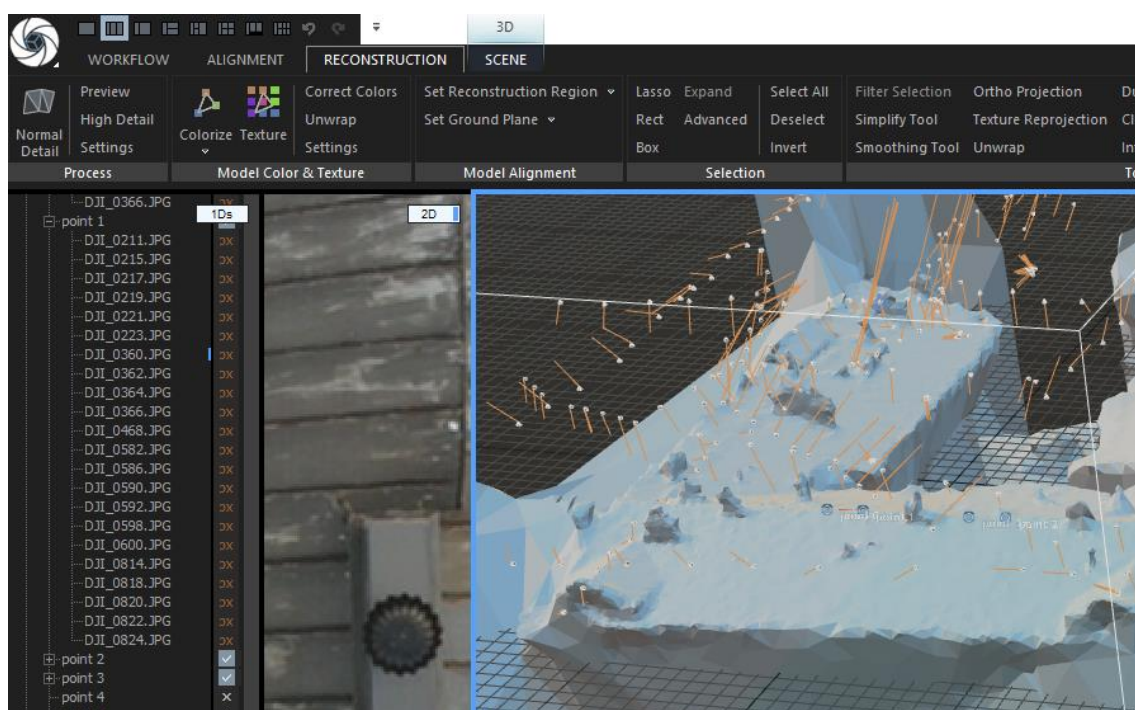
Kuva 22. Kuvien sijaintien määrittys tehdään Alignment välilehdeltä Align Images komennolla.

Komento järjestää valokuvat kolmiulotteisesti ja määrittää kunkin kuvanottoapaikan. Automaatiikka osaa tunnistaa referenssipisteitä, mutta luultavasti se ei tunnista kaikkia niistä ja loput joudutaan määrittämään manuaalisesti. Automaattisestikin tunnistetut referenssipisteet joudutaan hyväksymään yksitellen käsin, mutta samalla voidaan tarkastaa automatiikan toiminta. Referenssipisteiden hyväksyminen tapahtuu 1Ds näkymän luettelosta Control Points kohdan vihreästä painikkeesta. Ohjelma tunnistaa referenssipisteet hyvälaatuisista kuvista melko hyvin, tarpeen tullen voidaan lisätä Control Points merkkejä valokuvuihin.

Tämän vaiheen jälkeen on hyvä tehdä Align Images uudestaan. Viimeistään tämän vaiheen jälkeen 3D-näkymään pitäisi tulla näkyviin pistepilvimalli kuvattusta kohteesta. Jos malli näyttää olevan vain pieni osa kuvattua kohdetta on tarpeen venyttää 3D-näkymässä mallinnettavan alueen rajoja, alueen kasvattamisen jälkeen joudutaan toistamaan vielä Align Images. Mallinnettavan alueen on hyvä olla melko lähellä oikean kokoista, liian iso alue tekee mallista turhan raskaan ja pienessä luonnollisesti jää jokin osa pois. Kun pistepilvimalli on oikean kokoinen ja silmin nähden oikean muotoinen voidaan siirtyä seuraavaan vaiheeseen.

6.8 Pistepilvimallin muuttaminen mesh-malliksi Reality Capture:ssa

Valokuvien järjestelyn ja referenssipisteiden määrittelyn jälkeen 3D-näkymässä näkyy pistepilvimalli, joka on jo melko havainnollistava, mikäli kaikki on mennyt toiveiden mukaan. Pistepilvi muutetaan mesh- eli pintamalliksi, jolloin pisteiden väliin ohjelmisto mallintaa kolmioita luoden sille yhtenäisen pinnan. Komento tähän löytyy Reconstruction välilehdellä olevasta Process kohdasta. Tässä on valittavissa eritasoiset mallinnukset, on suositeltavaa aloittaa esikatselu-, eli Preview-laadulla, jotta saadaan nopeasti selville, onko kaikki edennyt suunnitelmien mukaan. Esikatselulaadulla malli on melko epätasaisen näköinen, mutta sen pitäisi silti olla helposti tunnistettavissa valokuvatuksi kohteeksi.



Kuva 23. Mesh-mallin luominen pistepilvestä ja tekstuurien lisääminen malliin Reconstruction välilehdeltä.

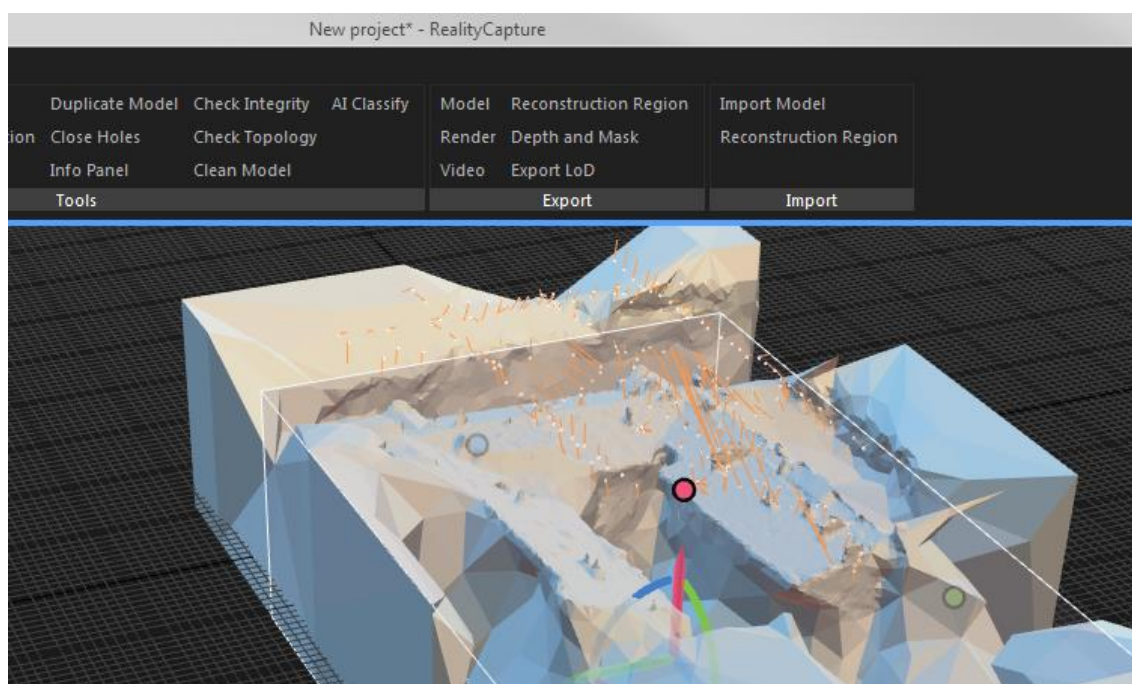
Käytettävissä olevan tietokoneen resurssien mukaan valitaan seuraavaksi tarkempi taso mallinnukselle. Mikäli ei ole varmuutta onnistumisesta korkeimmalla laadulla, kannattaa välissä toteuttaa mallin luominen normaalilla laadulla. Tämäkin on monelle kannettavalle tietokoneelle liian raskas toimenpide, joten on suositeltavaa tallentaa työstä kopio, mikäli ohjelmisto kaatuu ja mallinnus vaurioituu, ei sitä pysty palauttamaan.

Normaalilaatuisenkin mallin luominen voi viedä useamman tunnin, on siis järkevää käyttää tuo aika hyödyksi muutoin.

Tässä vaiheessa mallin pitäisi olla jo hyvin selkeä ja tunnistettavissa kohteen 3D-malliksi, mutta värejä siinä ei ole, vaan se on tasaisen harmaa. Mikäli malliin halutaan saada värit hahmottamisen helpottamiseksi, on käytettävä Texture tai Colorize toimintoa. Värien lisääminen malliin vaatii tietokoneelta NVIDIA näytönohjainta, jossa on riittävästi muistia. Ilman tällaista värien lisääminen ei onnistu.

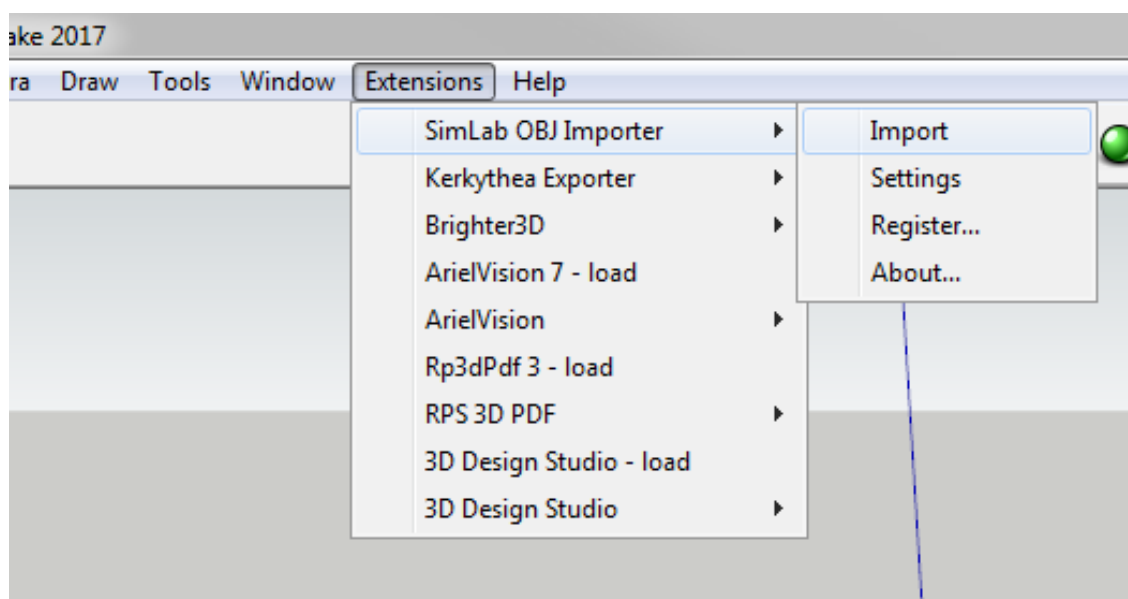
6.9 Valokuvamallin tuominen Reality Capturesta muokattavaksi malliksi

Siinä vaiheessa, kun malli on riittävän hyvä ja vastaa haluttua tasoa voidaan se viedä pois Reality Capture ohjelmasta. Tässä vaiheessa on siis maksettava ohjelmistossa kyseinen malli. Mallin hinta muodostuu sen koon ja tarkkuuden perusteella. Osto tapahtuu Reality Capturen omilla krediteillä, eurolla saa noin 500 kredittiä. Hintaan voi ilmeisesti vaikuttaa muokkaamalla mallia kevyemmäksi esimerkiksi tekstuuriensa osalta



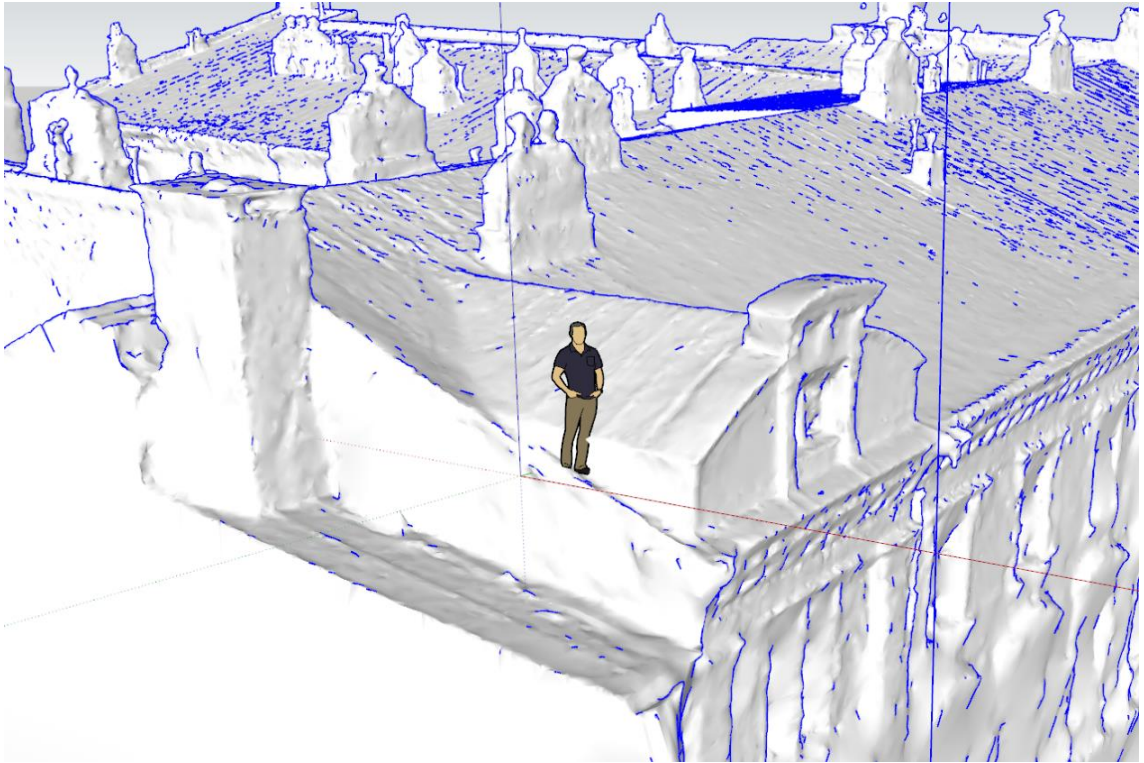
Kuva 24. Mallin vieminen Reality Capturesta tapahtuu Reconstruction välilehdeltä käyttäen Export Model toimintoa.

Mahdollisia tiedostomuotoja on muutama erilainen, mutta mikään ei näyttänyt olevan suoraan yhteen sopiva Allplaniin tai Teklaan. Ilman maksullisia lisäohjelmia saadaan malli siirrettyä Allplaniin tallentamalla se Reality Capturesta OBJ-tiedostona. Kun tiedosto on viety Reality Capturesta, voidaan ohjelma sulkea ja siirtyä käyttämään SketchUpia. Siihen on ladattava lisäosa, jotta tiedosto saadaan auki ja käyttöön. Tähän kykeneviä lisäosia löytyi muutama, joista SimLab OBJ Importer todettiin toimivimmaksi. Lisäosassa voidaan käyttää ilmaista kokeilua, jolloin säästytään lisäkuluilta. Tiedostojen siirtämiseen ohjelmasta toiseen on varmasti muitakin keinoja ja reittejä. Tällä keinolla selvittää ilman erikoisohjelmistoja, jotka maksavat usein melko paljon.



Kuva 25. Tuominen tapahtuu lisäosan asentamisen jälkeen Extensions valikosta SimLab OBJ Importer ja Import komennolla.

Tämän jälkeen, kun malli on tuotu SketchUpiin riittää, että tallennetaan tiedosto nimellä ja annetaan tiedostomuodon olla oletuksenakin oleva SKP-tiedosto. Tallennettu SKP-tiedosto voidaan tuoda suoraan Allplaniin, jossa sitä voidaan alkaa jatkojalostamaan samaan tapaan kuin laserkeilauksella tehtyä pistepilveä eli mallintamaan sen perusteella pintoja uudestaan suoriksi ja näin myös kevyemmiksi.



Kuva 26. Väritön malli tuotuna SketchUp ohjelmaan, josta se saadaan tuotua edelleen Allplaniin. Mallin käyttäminen SketchUpissa osoittautui todella raskaaksi sen epätasaisten pintojen takia.

Epätasaista pintaa on mahdollista tasoittaa ja täten keventää mallia, vähentämällä pintakolmioiden määrää. Tietomalliasiantuntijan mukaan tämä ei ole kuitenkaan mallin tarkkuuden kannalta järkevää, sillä pintakolmioiden määrän vähentyessä heikkenee luonnollisesti myös mallinnuksen tarkkuus. Suuremmissa kohteissa, joissa mallin raskaus haittaisi jo mallintajan työskentelyä, saattaisi skannatun mallin keventäminen olla silti järkevää.⁶⁹

⁶⁹ Keskustelu Mika Konttilan kanssa 12.4.2021

6.10 Rakennuksen koko ulkovaipan mallintaminen

Vastaavaa kuvaus- ja mallinnusmenetelmää voidaan käyttää koko rakennuksen ulkovaipan mallintamiseen melko identtisin toimenpitein. Aiemmin mainittujen huomioiden lisäksi on julkisivuja kuvatessa muistettava yksityisyyden suoja, sillä asuintiloja tai pihoja ei saa kuvata ilman erillistä lupaa. Mikäli ulkona on kuitenkin tarpeeksi valoisaa, ei kuvissa kuitenkaan näy ikkunoiden läpi kovin hyvin sisälle rakennukseen. Kuvauslennosta on erityisesti tällöin tärkeää tiedottaa rakennuksen käyttäjille ja pyytää tiedotteessa samalla käyttäjiä sulkemaan verhot. Verhot sulkemalla kevennetään samalla mallinnusprosessia, kun huoneistojen sisäosia ei tarvitse prosessoida.

Koko rakennusta mallintaessa on muistettava kiinnittää referenssipisteitä myös rakennuksen alaosaan ja mahdollisuuksien mukaan myös ylemmäs julkisivuun. Vesikatolle ja julkisivun alaosaan tarrojen kiinnitys onnistuu usein ongelmitta, mutta julkisivun yläosa on usein vaikea tai lähes mahdoton. Referenssipisteitä voidaankin kiinnittää myös huoneistojen ikkunoiden sisäpuolelle ylempiin kerroksiin, jolloin ne näkyvät ulos lähes yhtä hyvin kuin ulkopuolta kiinnitetyt. Ikkunoiden sisäpuolelle kiinnitettäessä on asuntoihin järjestettävä pääsy sisälle, joka lisää valmistelujen määrää.

Rakennuksen alaosa on lähes poikkeuksetta helpompi kuvata käsikäyttöisellä kameralla, usein talojen vierustoilla on puita ja muita kasveja vaikeuttamassa dronella lentoa. Mikään ei silti estä tekemästä kuvausta pelkällä dronella.

7 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää fotogrammetrian tekemisen vaiheet ja tuottaa niistä yrityksen sisäinen ohjeistus. Samalla selvitettiin kevyen pintamallin hyödyntämistä sellaisenaan pienehköissä hankkeissa, tukemassa suunnittelua ja urakointia.

Tietomallikäyttöön fotogrammetrista mallia tehdessä työn on oltava tarkkaa, ja sen tarkkuutta velvoittavat vielä yleiset tietomallivaatimukset, YTV2020. Tällaiseen tasoon pyritäessä on takymetrillä mitattujen referenssipisteiden käyttäminen edellytys tasokkaaseen lopputulokseen. Muutoin oikeaan korkomaailmaan on vaikea päästä kiinni, ja mikäli samaan malliin halutaan yhdistää esimerkiksi laserkeilatut sisätilat, on tärkeää toimia oikeaa koordinaatistoa käyttäen. Yleisten tietomallivaatimusten mukaisen pistepilvimallin luominen vaatii syvempää perehtymistä aiheeseen ja todella tehokkaan mallinnustietokoneen. Tällaisia palveluita on ostettavissa siihen erikoistuneilta konsulteilta.

Kevyempiä, suunnittelua tukevia fotogrammetrialla toteutettuja malleja sen sijaan voidaan toteuttaa yllättävänkin pienellä vaivalla ja asiakkaan näkökulmasta edullisesti niin, että hankkeen tasolla mallin tekeminen saattaa laskea kokonaiskustannuksia sen tuomien hyötyjen takia. Kevyempi valokuvamalli sopii hyvin myös arkkitehtoniseen visualisointiin ja historiallisten rakennusten nykytilanteen dokumentointiin. Kevyestä mallista saadaan hyötyjä myös kustannus- ja määrienlaskentaan sekä se helpottaa monimuotoisten kohteiden hahmottamista huomattavasti. Kun tekniikka on tullut tutuksi, ei kevyemmän mallinnuksen tekemiseen kulu aikaa juurikaan kauempaa, kuin tavanomaiseen dronekuvaukseen.

Fotogrammetrisesta mallista mitat on helppo tarkastaa, verrattuna valokuvista arviointiin ja käsin mitattuihin luonnoksiin. Kevyemmällä toteutuksella tehtyihin malleihin jää jonkin verran mittaepävarmuutta, eikä millin tarkka suunnittelu niihin luottaen ole suositeltavaa. Tutkimusta tehtäessä oli käytössä melko keskitasoista ammattikäyttöön suunnattua kalustoa, näitä hyödyntämällä saatiin luotua kevyempiä mallinnuksia, mutta täysin mittatarkkoja malleja tehtäessä kalustovaatimukset kasvavat. Tietomallivaatimusten mukaisia malleja tehdessä on toistaiseksi kannattavaa tilata palvelu ulkopuoliselta konsultilta, sillä ammattitaidon lisäksi sellaisen tekeminen vaatii kallista ja juuri tähän työhön suunnattua kalustoa. Kokemuksen karttuessa kevyemmän mallinnuksen tekeminen korjaussuunnittelun tueksi onnistuu melko pienellä vaivalla ja yhdellä kohdekäynnillä.

Lähteet

1. <https://www.traficom.fi/fi/ajankohtaista/uusi-dronelaki-voimaan-vuoden-vaihteessa-mika-muuttuu> (luettu 25.3.2021)
2. Puhelinkeskustelu Päivi Kaariahon kanssa 23.4.2021
3. Keskustelu Teemu Kuosmasen kanssa 7.4.2021
4. <https://www.autodesk.fi/products/recap/overview> (luettu 29.4.2021)
5. <https://www.dronedeploy.com/pricing.html> (luettu 29.4.2021)
6. Haastattelu fotogrammetriasta, Janne Hirvonen, Tietoa Oy
7. <https://geoslam.com/what-is-lidar/> (luettu 11.5.2021)
8. RT-103133 Rakennuksen laserkeilaus (luettu 11.5.2021)
9. RT-103132 Fotogrammetrian käyttö rakennushankkeessa (luettu 11.5.2021)
10. Keskustelu Mika Konttilan kanssa 12.4.2021
11. <https://www.capturingreality.com/Explore-Full-body-Scans> (luettu 13.5.2021)
12. <https://www.geoweeknews.com/news/capturing-reality-licenses-images-instead-of-software> (luettu 13.5.2021)
13. RT-103375 Pistepilviaineisto suunnittelun lähtötietona ja inventointimallintaminen (luettu 4.11.2021)

14. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/143405/Introducing%20UAS%20and%20photogrammetry.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (luettu 14.5.2021)
15. <https://www.museovirasto.fi/fi/kulttuuriymparisto/rakennettu-kulttuuriymparisto/rakennusperintolailla-suojelu> (luettu 14.5.2021)
16. <https://aviamaps.com/map?drone#p> (luettu 14.5.2021)
17. Keskustelua Maximilian Alopaeuksen kanssa 14.5.2021
18. <https://helpx.adobe.com/fi/photoshop/using/working-with-color-profiles.html> (luettu 13.4.2021)
19. Innovaatioprojekti Dronen käyttö kuntotutkimuksissa
20. Keskustelu Jyrki Jallin kanssa kohteiden lähtötilanteen dokumentoinnista 2.3.2020
21. Mika Konttilan pitämä yrityksen sisäinen lämpökuvauskoulutus 2020
22. <https://www.indiamart.com/proddetail/digital-photogrammetry-6370012091.ht>
23. <https://www.droneinfo.fi/fi/itseopiskelumateriaalit-eu-asetuksen-mukaisiin-kauko-ohjaajan-kokeisiin>
24. <https://www.droneinfo.fi/fi/eun-dronesaanot>
25. Korjausrakentaminen TX00BL88-3009: Korjausrak Luento1.pdf
26. Korjausrakentaminen TX00BL88-3009: Korjausrak Luento2.pdf
27. Korjausrakentamisen kustannuksia 2019, Rakennustieto Oy

28. The drone camera handbook, Ivo Marloh, Keith Partridge
29. https://www.researchgate.net/figure/Drones-pitch-roll-and-yaw_fig2_329521700 (luettu 4.11.2021)
30. RT 03-10525 Rakennusten ja rakennusosien mittajärjestely (luettu 22.11.2021)
31. <https://www.capturingreality.com/Products> (luettu 13.5.2021)
32. <http://www.digitaalikuvaus.com/kasitteet> (luettu 3.4.2020)
33. Traficom, Lupaehdot EFP50, Kruunuhaka (luettu 2.10.2020)

Liitteet, vain työn tilaajan käyttöön

1. IFC-malli kohteen vesikatosta, mallinnettu opinnäytetyössä olevan ohjeen mukaan.
2. Kolmella eri tyylillä tehdyt tasokuvat vesikatosta DWG vertailua varten.
3. Yrityksen sisäinen ohje vesikaton fotogrammetrista mallintamista varten.