

Olli Kunnas

RPAS-toiminnan aloittaminen kuntaorganisaatiossa ja siihen liittyvät työprosessit

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinööriytyö

14.3.2018

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Olli Kunnas RPAS-toiminnan aloittaminen kuntaorganisaatiossa ja siihen liittyvät työprosessit 48 sivua + 11 liitettä 14.3.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	lehtori Ilkka Partonen paikkatietojohtaja DI Ossi Örn
<p>Työssä esitetään RPAS-toiminnan aloittaminen kuntaorganisaatiossa, esimerkkinä Keravan ja Järvenpään kuntien RPAS-laitteiston yhteishankinta ja toiminnan aloittaminen. Työn tarkoituksena on tuoda esiin toimintaa aloitettaessa huomioon otettavat seikat ja osa-alueet joihin kuntaorganisaatiossa kannattaa RPAS-toimintaa suunniteltaessa ja aloitettaessa panostaa. Työssä käydään läpi toiminnan aloittaminen kopterin hankinnasta lopputuotteisiin ja niiden käyttökelpoisuuteen. Lisäksi esitetään, millaisia työ- ja palveluprosesseja RPAS-toiminta synnyttää kunnan sisällä.</p> <p>Toiminnan aloittamista käsitellään Keravan ja Järvenpään vuonna 2017 tapahtuneen RPAS-laitteiston hankinnan kautta. Työn alussa käydään läpi hankinnan vaiheet ja perusteet kopterin ja ohjelmistojen valintaan. Tämän jälkeen esitellään kolme kohdetta, joissa RPAS-laitteistoa käytettiin kartoitukseen ja mallinnukseen sekä kuvaillaan työnkulku ja arvioidaan esimerkkikohteista saatuja tuloksia. Arviointi tapahtuu käytännön kokemusten kautta ja perustuu työprosessin eri vaiheiden kuvaukseen. Lopuksi arvioidaan tuotteiden käyttökelpoisuutta tarkoituksenmukaisessa loppukäytössä. Työn yhteydessä tuotettiin myös tarvittavat ohjeistukset ja lomakkeet RPAS-toimintaan.</p> <p>Esimerkkikohteet visualisoidaan työ- ja palveluprosesseina jotka perustuvat palvelumuotoilun periaatteisiin. Visualisoitujen työprosessien analyysillä halutaan osoittaa RPAS-toiminnan kannalta merkittävimmät työvaiheet. Palveluprosessit esittävät RPAS-toiminnan kuntaorganisaation sisäisenä palveluna.</p> <p>Työn tulosten perusteella voi sanoa, että RPAS-toiminnan aloittaminen kuntaorganisaatiossa kannattaa. Se mahdollistaa monipuolisen kartoitus- ja mallinnustöiden teon riittäväällä laadulla. Organisaation kannattaa panostaa RPAS-toiminnan aloittamiseen suunnitelmallisesti ja varata siihen riittävästi resursseja. Visualisoitujen työ- ja palveluprosessien avulla on helppo osoittaa RPAS-toiminnan kannalta tärkeät työvaiheet sekä kehittää ja tehostaa palvelua kuntaorganisaation sisäisessä palvelussa.</p>	
Avainsanat	RPAS-toiminta, prosessi, kuntaorganisaatio, palvelumuotoilu

Author Title Number of Pages Date	Olli Kunnas Starting RPAS activity in municipal organization and work processes related to it 48 pages + 11 appendices 14 March 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land surveying
Instructors	Ilkka Partonen, Senior Lecturer Ossi Örn, Master of Science (technology)
<p>The purpose of this thesis was to collect the matters to be considered when a municipal organization starts operating remotely piloted aircraft systems (RPAS), from the acquisition of the copter to the actual work stages and results. In addition, a range of work and service processes generated by the RPAS operations within the municipality were discussed.</p> <p>The final year project looked into the acquisition of RPAS equipment in Kerava and Järvenpää in 2017 to establish how operations can be started. To establish the usability of a RPAS, three land surveying and modelling cases using RPAS were studied and the results evaluated. The evaluation of the cases was based on practical experience. The theoretical principles of service design were used to visualise the processes.</p> <p>The results of this project showed that it is worthwhile to start using RPAS in municipal organizations since it enables a versatile mapping and modelling work to be done with sufficient quality. It is important that the organization invests time and resources to the initial phase of the RPAS activity and continues to allocate sufficient resources to it. The visualised processes in the thesis help to develop and enhance the processes as an internal service of a municipal organization.</p>	
Keywords	remotely piloted aircraft system activity, process, municipal organization, service desing

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	RPAS-laitteiston yhteishankinta	2
2.1	Tavoitteet	2
2.2	Kilpailutus kopterivalmistajien välillä	4
3	Kopteri ja ohjelmistot	5
3.1	RPAS-laitteiston valintakriteerit ja valinta	5
3.2	Lennättämiseen vaikuttavat määräykset ja turvallisuus	8
3.3	Ohjelmisto aineiston käsittelyyn	9
4	Käytännön RPAS-toiminta	10
4.1	Ohjeistus ja turvallisuus	10
4.2	Lennon toteuttaminen, rajoitukset ja signalointi	12
4.2.1	Lennon suunnittelu ja valmistelut	12
4.2.2	Lennon toteutus	15
4.2.3	Signalointipisteet	17
4.2.4	Rajoitukset	17
4.3	Datan käsittely, pistepilven ja ortokuvien teko Drone2Map-ohjelmistolla	19
4.4	D2M-tuotetun aineiston tarkkuus	25
5	Testikohteet	27
5.1	Mt 148:n kartoitus parannustöiden jälkeen	27
5.2	Posliinitehtaankadun maastomalli infrasuunnittelun tueksi	30
5.3	Viertolan alueen 3D-mallinnus kaavoituksen suunnitteluun	34
6	Toimintaprosessien kuvaus	37
6.1	Työ- ja palveluprosessit Keravalla	39
6.1.1	Kantakartan täydennys Mt148	39
6.1.2	Maastomalli infrasuunnitteluun	40
6.1.3	Viertolan alueen 3D-mallinnus kaavoituksen tueksi	42
6.2	Analyysi työprosesseista	43
6.3	Analyysi palveluprosesseista	43
7	Yhteenveto	44

Liitteet

Liite 1. Keravan ja Järvenpään kaupungit: Miehittämättömän ilmailun toimintakäsikirja

Liite 2. RPAS-toimintaohje (DJI Phantom 4 Pro)

Liite 3. Keravan RPAS-lentopäiväkirja

Liite 4. RPAS-tarkistuslista

Liite 5. Turvallisuusarviointi

Liite 6. Työprosessikaavio kartoitus (Mt148)

Liite 7. Palveluprosessikaavio kartoitus (Mt148)

Liite 8. Työprosessikaavio maastomalli (Posliinitehtaankatu)

Liite 9. Palveluprosessikaavio maastomalli (Posliinitehtaankatu)

Liite 10. Työprosessikaavio 3D-mallinnus (Viertola)

Liite 11. Palveluprosessikaavio 3D-mallinnus (Viertola)

Lyhenteet

BIM	Building Information Model, rakennuksen tietomalli
BVLOS	Beyond Visual Line Sight, pilotin näkökentän ulkopuolella tapahtuva lennätys
CTR	Control Zone, lentoaseman lähialue
D2M	Drone2Map-ohjelmisto
DTM	Digital Terrain Model, digitaalinen maanpintamalli
DSM	Digital Surface Model, digitaalinen pintamalli
DEM	Digital Elevation Model, digitaalinen korkeusmalli
EASA	European Aviation Safety Agency
GNSS	Global Navigation Satellite System, satelliittipaikannusjärjestelmä
GSD	Ground Sampling Distance, ilmakuvien maastoresoluutio eli tarkkuus
HKR	tiedostoformaatti, jota käytetään vektoritiedon viemiseen pohjakartan tietokantaan
IFC	Industry Foundation Classes, rakennuksen tietomalleissa käytetty standardi
LAS	Laserkeilauksesta tuotettu pisteaineisto
MESH	taitepisteiden, taitteiden ja pintojen muodostama kolmiulotteinen malli voidaan värjätä pistepilven RGB-väreillä ns. coloured MESH
NPA	Notice of Proposed Amendment, ehdotus sääntelystä EU:lle

KMTK	kansallinen maastotietokanta
OBJ	3D-mallien siirtämiseen eri ohjelmien välillä kehitetty tiedostoformaatti
POI	Point of Interest, ympyrän muotoinen lentorata halutun kohteen ympärillä
ReCap	Autodeskin 3D-mallien käsittelyyn tarkoitettu ohjelma
RGB	Red Green Blue
RMSE	Root Mean Square Error, keskineliövirheen neliöjuuri
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System, miehittämättömän ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmä, sisältäen ilma-aluksen, kauko-ohjauspaikat ja yhteysjärjestelmät sekä muut määrätyt järjestelmän osat
RTK	Real Time Kinematic, reaaliaikainen korjaussignaali GNSS-mittauksessa
slpk	Scene Layer Package, ArcGis Pro:n käyttämä tiedostomuoto
TIN	Triangulated irregular network, kolmioverkko
UAS	Unmanned aerial system, järjestelmä joka sisältää ilma-aluksen, sen ohjausjärjestelmän ja ohjaajan
UAV	Unmanned Aerial Vehicle, miehittämätön ilma-alus
VLOS	Visual Line of Sight, pilotin näkökentässä tapahtuva lennätys

1 Johdanto

Keravan ja Järvenpään yhteisen kuvauskopterin, eli UAV-, UAS-, RPAS-kokonaisuuden hankkiminen tuli ajankohtaiseksi keväällä 2017. Hankintapäätöksen taustalla vaikuttivat mm. RPAS-kaluston halpeneminen sekä halu oman ortokuva- sekä pistepilviaineistojen tuottamiseen. Tämän lopputyön tekijän kiinnostus aiheeseen heräsi hankintapäätöksen tulla tietoon. Lopputyön aiheeksi kopterihankintaa ehdotti lopulta Metropolia AMK:n lehtori Reijo Aalto. RPAS-kokonaisuuden hankinnan yhteydessä nousi esille myös tarve avata kuvaukseen liittyviä työprosesseja, mistä tulikin keskeinen osa lopputyötäni.

Työssä käsitellään aluksi kopterihankintaa ja toiminnan aloittamiseen liittyviä vaiheita sekä esitellään kopterilla tuotetun materiaalin käsittelyyn käytettyä Drone2Map-ohjelmissä (D2M). Tämän jälkeen esitellään kolme mittauskohdetta, joiden kartoitukseen on käytetty kopteria ja käydään läpi mittaustyön ja datan käsittelyn eri vaiheita. Esimerkki-kohteiden jälkeen työssä visualisoidaan RPAS-laitteistolla suoritettavan mittaus-/mallinustyön työ- ja palveluprosessit.

Prosessien visualisoinnin tarkoituksena on löytää lopputuotteen kannalta merkittävimmät vaiheet sekä mahdolliset ongelmakohdat työprosessissa. Palveluprosessien visualisointi perustuu palvelumuotoilun (*service design*) periaatteisiin, palvelumuotoilu pyrkii mm. kehittämään palveluja käyttäjälähtöisesti. Yhtenä työn tavoitteena on palveluprosessien visualisoineilla osoittaa, että RPAS-toimintaa voi käsitellä ja kehittää myös palveluna. Lopun yhteenvedossa nostan esiin asioita, joihin tulee kiinnittää huomiota RPAS-toimintaa aloitettaessa ja joiden vuoksi työprosessien ja palveluprosessien visualisointi toiminnan aloittamisvaiheessa kannattaa mielestäni tehdä.

Työ pohjautuu Keravalla vuoden 2017 aikana saatuun käytännön kokemukseen RPAS-toiminnasta. Kopterikuvaukseen teoriaa ja fotogrammetriaa on käsitelty viime vuosina muun muassa useissa eri insinööritöissä (esim. Kumpula 2013, Jokinen 2014, Hokkanen 2015, Haaraniemi 2016, Teittinen 2017), minkä vuoksi ilmakuvauksen teoria ja tekniikka sekä multikopterien tekninen toteutus on rajattu työn ulkopuolelle. Työn painopiste on RPAS-toiminnan toteutuksessa ja siihen liittyvissä työprosesseissa.

Lopputyön tekijä työskentelee Keravan kaupungilla kartoittajana ja vastasi vuonna 2017 RPAS-toiminnan aloittamisesta. Olen erittäin kiinnostunut työprosessien tehostamisesta ja kehittämisestä, mikä toivottavasti näkyy työn painottumisessa erityisesti kartoitusdatan tuottamisen ja käsittelyn eri prosesseihin. Haluan kiittää Keravan kaupungin paikkatietopalveluita, erityisesti Ossi Örneä, mahdollisuudesta kerätä aineistoa insinööryötäni varten työnteon ohessa. Lisäksi kiitokset kopteriesittelijöille ja kaikille muille, joiden kanssa olen aiheesta keskustellut. Erityiskiitos vielä Järvenpään ja Nurmijärven kaupunkien mittaus- ja paikkatietopuolen henkilökunnalle.

2 RPAS-laitteiston yhteishankinta

2.1 Tavoitteet

Keravan, Järvenpään ja Nurmijärven RPAS-laitteiston hankintaa alettiin suunnitella keväällä 2017 ja se päätettiin toteuttaa yhteishankintana. Ensisijaisena syynä yhteishankintaan olivat käsitykset laitteistojen korkeasta hinnasta ja siten mahdollisuus kulujen jakamiseen. Hankinnan edetessä käsitys laitteiston kalleudesta huomattiin osittain virheelliseksi. Hankinnan selvityksen suoritti Keravan kaupungin kartoittaja Olli Kunnas.

Laitteiston hankintaa suunniteltiin kahdessa kokouksessa, joihin osallistuivat kuntien edustajat ja niissä päädyttiin seuraaviin hankintaa ohjaaviin periaatteisiin:

1. RPAS-laitteiston pääasiallisia käyttötarkoituksia tulevat olemaan kantan kartan täydennys ortokuvien pohjalta, oma ortokuvatuo tonto ja maastomallien teko sekä niiden täydennys pistepilviaineistoista
2. Toissijaisia käyttötarkoituksia ovat 3D-kaupunkimallin täydentäminen, koneohjauks mallien lähtömateriaalien tuotanto ja kiinteistöjen/tonttialueiden videokuvau s

Kopterinlennoilla tuotetun aineiston käsittelyyn tarkoitettujen ohjelmistojen hankinta rajattiin kopterihankinnan ulkopuolelle, koska Keravalla ja Järvenpäässä oli hankittuna ESRIn kuntalisenssi, joka mahdollistaa ESRIn Drone2Map-ohjelmiston käytön datan käsittelyyn. Päätöstä jo olemassa olevan ohjelman käytöstä ohjasi kaupunkien periaatteellinen pyrkimys rajoittaa usean eri tuottajan ohjelmistojen käyttöä.

Tutustuminen hankinnan kohteeseen aloitettiin hakemalla tietoa eri kopterivalmistajista internetistä, kyselemällä käyttökokemuksia ja etsimällä raportteja sekä opinnäytetöitä RPAS-laitteiston käytöstä kuntaympäristössä. Erityisesti etsittiin tietoa laitteistojen testauksesta ja siitä, onko laitteistoilla saavutettu tarkkuus riittävä kartoitustyöhön (esim. Kumpula 2013; Jokinen 2014; Hokkanen 2015; Haaraniemi 2016; Teittinen 2017). Erinomaiseksi tietolähteeksi osoittautuivat kansallisen maastotietokannan hankkeeseen (KMTK) liittyvät selvitykset RPAS-menettelmien käytöstä kuntien tuotantoprosessissa (Kansallinen maastotietokanta-hanke (KMTK) 2016-2017). Myös kopterivalmistajista oli saatavilla erinomaisen paljon tietoa, ja vähitellen joukosta seuloutui kolme potentiaalista vaihtoehtoa RPAS-laitteistoksi. Valitut RPAS-laitteistot olivat seuraavat (mukana myös hankintahinta keväällä 2017):

- DJI Phantom 4 Pro 3034 e + Tabletti n. 300 e
- Aibot X6 V2 n. 30 000 e varusteineen, vuosihuolto 2 500 e
- Geodrone X4L n. 24 000–25 000 e varusteineen, vuosihuolto 3 500 e

Edellä mainittuihin valmistajiin päädyttiin mm. valmistajien tunnettuuden, aikaisempien kokemusten ja yleisen kopterien toimintoja ja ominaisuuksia koskevan tiedon saannin helppouden perusteella.

Tässä vaiheessa yhteishankintaa Nurmijärven kunta teki päätöksen hankkia kopteri ainoastaan omaan käyttöön, ja yhteishankintaa jäivät jatkamaan Kerava ja Järvenpää. Nurmijärvelle hankittiin DJI Phantom 4 Pro -RPAS-laitteisto, jonka hankintahinta jäi niin alhaiseksi, ettei Nurmijärvi enää katsonut tarpeelliseksi jatkaa yhteishankintaa.

Keravalla ja Järvenpäässä lentotoiminnan käytännön suorittaminen päätettiin sisällyttää kuntien organisaatiossa osaksi maastomittausta, jossa sen suorittamisesta tulisivat huolehtimaan maastomittauksesta vastaavat kartoittajat. Alkuvaiheessa lentotoimintaa suorittaisi kaksi henkilöä, yksi Keravalla ja yksi Järvenpäässä. Alkuvaiheen jälkeen lentotoimintaa on tarkoitus laajentaa useammalle kartoittajalle, joiden opastuksesta ja ohjeistuksesta vastaavat lentotoiminnan aloittaneet henkilöt. Usean lentäjän käyttämiseen päädyttiin mittaushenkilökunnan vähyyden vuoksi ja useammalla ohjaajalla voitiin varmistaa kopterin tehokas käyttö.

2.2 Kilpailutus kopterivalmistajien välillä

Kilpailutus kopterivalmistajien välillä aloitettiin pyytämällä tarjoukset ja esittelylennot valituilta kolmelta kopterivalmistajalta. Esittelylennot haluttiin toteuttaa alueella, jolta lopputyön tekijä oli tehnyt maastomallin syksyllä 2016. Näin haluttiin vertailla RPAS-laitteiston soveltuvuutta kartoitukseen ja maastomallien tekoon. Kilpailutuksen helpoin osio oli tarjouspyyntö, johon laitteistojen edustajat vastasivat nopeasti ja tarpeellisilla tiedoilla. Ongelmaksi kilpailutuksessa osoittautuivat esittelylentojen aikataulujen järjestäminen sekä mahdollinen kulujen jakaminen yhteishankinnassa.

Esittelylennoissa ongelmia aiheutti hankinnasta vastaavien ja kopteriedustajien aikataulujen sovittaminen yhteen, lisäksi säätilalla on merkittävä vaikutus lentojen suorittamiseen. Lennot voidaan suorittaa ainoastaan kuivalla säällä tuuliolojen ollessa alle 8–10 m/s. Loppujen lopuksi esittelylentojen kohteeksi suunnitellulla alueella voitiin suorittaa ainoastaan GeoDronen ja Aibotin lennätyskset. Näistä kahdesta Aibotin lennätys jouduttiin keskeyttämään tuuliolojen muututtua lennon suorittamisen kannalta liian vaikeiksi. Lisäksi DJI:n edustaja ilmoitti, että esittelylennon suorittaminen maksaa 300 e, johon projektin tässä vaiheessa ei ollut varattuna rahaa. DJI:n esittelylentoa päästiin kuitenkin seuraamaan Nurmijärvellä, joka maksoi esittelylennosta. Syynä esittelylennon hintaan oli valmistajan mukaan RPAS-laitteiston halpa hankintahinta; esittelylento matkustus- ja muine kuluineen olisi verottanut liikaa myytävän tuotteen katetta.

Ennen esittelylentoja oli huomio kopterien vertailussa kiinnittynyt kopterien ominaisuuksiin (lisää luvussa 3.1). Esittelylentojen yhteydessä hankinnasta vastaava dokumentoi myös lennon valmistelua, lennon suunnitteluohjelmiston käyttöä ja ajankäyttöä. Esittelylentojen dokumentoinnin yhteydessä tärkeäksi tekijäksi hankinnassa nousi ennen kaikkea lennätysprosessin suorittamisen helppous, ja tämä tuli olemaan yhtenä ratkaisevana tekijänä lopullista hankintapäätöstä tehtäessä.

Esittelylentojen jälkeen tarkasteltiin koptereilla tuotettua aineistoa. Esittelylentojen jälkeen kuvat siirrettiin muistitikulle, minkä jälkeen yksittäisiä kuvia ja niiden laatua oli mahdollista tarkastella lähemmin. Lisäksi Geodronen onnistuneen testilennon jälkeen alueelle tehtyjen signaalointipisteiden koordinaatit toimitettiin lennon suorittajalle, joka laski niistä Pix4D-ohjelmistolla koordinaatistoon sidotun ortokuvan ja MESH:n. Aibotin ja DJI:n lennoista saatiin myös katsottavaksi lentojen pohjalta tehdyt ortokuvat.

Merkittäväksi ongelmaksi kopterin yhteishankinnassa osoittautui yhteishankinnan rahoittaminen ja kulujen jakaminen, jota kaupunkien hankintasäännöt rajoittivat. Sama ongelma koski myös vakuutuksen hankintaa, jossa ongelmaksi tuli se, voidaanko yhden laitteen vakuutus jakaa kahden kunnan välillä. Edellä mainittujen ongelmien käsittelyn piti alun perin olla yksi tämän työn aiheista, mutta ongelmiin löytyikin yllättävän helppo ratkaisu, minkä seurauksena hankintaprosessin ja vakuutusten käsittely rajattiin lopulta työn ulkopuolelle.

Yhteishankinnassa päätettiin edetä siten, että Keravan kaupunki hankkii RPAS-laitteiston ja siihen tarvittavat vakuutukset ja laskuttaa Järvenpään kaupunkia laitteiston käytöstä. Ratkaisevana tekijänä tässä yhteydessä oli mahdollisuus ulottaa laitteiston vakuutus kattamaan myös Järvenpään alueella tapahtuva käyttö. Keravan kaupungin hankintasäännön yli 30 000 euron hankinnoissa edellyttämän virallisen kilpailutuksen aiheuttamalta ongelmalta vältyttiin lopullisen hankintahinnan jäädessä alle kyseisen summan.

3 Kopteri ja ohjelmistot

3.1 RPAS-laitteiston valintakriteerit ja valinta

Esittelylentojen jälkeen hankintakriteerit olivat selkeytyneet, ja kopterien vertailu voitiin aloittaa. Vertailuun koostettiin 17 kohdan lista, jossa luetellaan RPAS-laitteistolta haluttuja teknisiä ominaisuuksia:

1. Hyötykuorman kantokyky
 - noin 2 kg
2. Lentoaika
 - 20–40 min, lentomahdollisuus ympäri vuoden plussaa
3. Kameratarve?
 - Tarpeeksi laadukas tarkkojen pistepilvien luomiseen
4. Painorajoitteita
 - Alle 7 kg
5. Hinta
6. Akkupankin koko
 - Vähintään 4 akkua
7. Suojalaukut ja kenttävarustus
 - Laukku oltava, mieluiten kaikki lentoon tarvittava samassa laukussa
8. Multi- ja autolataus
 - kyllä
9. Ylimääräiset radio-ohjaimet

- Ei välttämättä tarvetta
- 10. Multikameran tarve
 - Tällä hetkellä ei, viistokuvaus onnistuttava
- 11. Tabletit & varusteet
 - Ipad tai Android
- 12. Koulutus
 - Mieluiten tutussa ympäristössä, koulutuksen ylläpito tärkeää
- 13. Laite- ja vastuuvakuutus
 - Oma vai leasing?
- 14. Huoltosopimus
 - tehdään joka tapauksessa, oli kyseessä leasing tai osto. DJI:lla mahdollisuus varalaitteeseen
- 15. Rahoitusvaihtoehdot
 - Leasing tai osto
- 16. Varaosat & pikahuolto
 - Mitä lähempänä, sen parempi
- 17. Helppokäyttöisyys
 - Helppokäyttöisyys on erittäin tärkeä tekijä kopterihankinnassa. Työn on oltava sujuvaa ja mitä yksinkertaisempi kuvausprosessi suunnittelusta lennon lopetukseen on, sitä parempi. Tällä halutaan varmistaa kopterin aktiivinen ja monipuolinen käyttö.

Listan koostamisen jälkeen tiedot lisättiin vertailutaulukkoon (taulukko 1), jossa käytiin läpi kopterikohtaiset ominaisuudet:

Taulukko 1. Kopterien ominaisuuksien vertailu, kohdat 1–16.

	DJI Phantom pro 4	Aibotix X6 V2	Geodrone X4L
1	X	X	X
2	30 min	20–30 min	38 min
3	Dji Zenmuse X	Sony A6000 X	Sony A6000 X
4	Alle 7 kg 1,4 kg	Alle 7 kg	Alle 7 kg
5	3200	30000	25000
6	4	8	4
7	On, pieni ja kätevä	800e	On
8	On	Ei autolaturia	Ei autolaturia
9	On, mahdollisuus	Ei	Ei
10	Ei (viisto kyllä)	On	Ei
11	Tabletti hankittava	Ei tarvetta	Ei tarvetta
12	Suomessa	Saksassa	Suomessa
13	Tarjoaa vakuutuksen	Hankittava oma	Hankittava oma
14	On	2500e/v	3500e/v
15	Leasing tai osto	Osto	Osto
16	Suomessa	Saksassa	Suomessa

Käytön sujuvuutta ja helppokäyttöisyyttä (kohta 17) testattiin ja seurattiin kopteritarjoajien esittelytilaisuuksissa. Esittelyjen perusteella suoraviivaisin ja helpoin lentoprosessi

suoritettiin DJi Phantom 4 Prolla, jolla lentojen suunnittelu oli helppoa ja kopterin valmistaminen lentovalmiuteen huomattavasti muita valmistajia nopeampaa. Verrattaessa testilentojen yhteydessä kuvattuja ilmakuvia ei valmistajien kesken noussut esiin suuria eroja ja laadultaan kuvat olivat tasavahvoja. Ainoastaan Phantomin kuvauslennon aikana oli kameran suljinaika jäänyt esittelijältä liian suureksi ja tämä heikensi hieman ilmakuvien laatua.

Testien, ominaisuuksien ja hinnan perusteella Keravan ja Järvenpään yhteiskäyttöön sopivimmaksi multikopteriksi valikoitui DJi Phantom 4 Pro (Kuva 1), jonka helppokäyttöisyyttä ja ominaisuuksia pidettiin erinomaisina. Lisäksi sen hankintahinta oli huomattavasti muita malleja edullisempi. Eniten Phantom 4 Pron hankintaa puolsi juuri sen helppokäyttöisyys ja yksinkertaisuus, jotka mahdollistavat vaivattoman ilmakuvausten aloittamisen ja kuvausprosessien kehittämisen Keravalla ja Järvenpäässä. Phantomin edustaja tarjosi myös mahdollisuuden leasingsopimukseen, joka helpottaa huoltoon ja tukeen liittyviä seikkoja sekä mahdollistaa vakuutuksen hankkimisen kopterille. Sopimuksen aikana kopterimallia on myös helppo tarpeen vaatiessa päivittää toiseen malliin.

Hankinnan tärkeimmät perusteet olivat seuraavat:

- Hankintahinta on edullinen.
- Ominaisuudet vastaavat kalliimpia koptereita.
- On olemassa leasingmahdollisuus
- Koska kopterin käyttöliittymä ja käyttö on yksinkertaista, on sen käyttöönotto helppoa ja sen käyttöä on helppo opettaa. Myös kynnys lentää 4 000 e:n kopteria on pienempi kuin 30 000 e:n hintaista laitetta.
- Koska toiminta on vasta alkuvaiheessa, on perusteltua hankkia edullisempi laite kuvausprosessin opetteluun ja kehittämiseen.



Kuva 1. DJI Phantom 4 Pro -multikopteri.

3.2 Lennättämiseen vaikuttavat määräykset ja turvallisuus

Miehittämätöntä ilmailua sääntelee tällä hetkellä Suomessa Trafin määräys OPS M1-32 (Trafi 2018). Lisäksi EASA (*European Aviation Safety Agency*) on julkaissut luonnoksen NPA 2017-05, joka oli lausuntokierroksella vuoden 2017 aikana. Luonnoksen pohjalta valmistellaan asetus RPAS-toimintaan EU-alueella. Asetuksen ennakoitaan astuvan voimaan vuoden 2018 aikana ja ennen sitä voimassa ovat OPM 1-32M -määräykset. (Lennokiturvallisuus 2018: EASA:n lennokkimääräyksen lopullinen asetusluonnos.)

Keravan ja Järvenpään miehittämättömässä ilmailutoiminnassa noudatetaan Trafi OPM M1-32 -määräyksiä, lisäksi lentotoimintaan on koostettu käsikirja Trafin sivuilta saatavan mallipohjan mukaisesti (Miehittämättömän ilmailun käsikirja. Trafi 2017). Lentotoiminnassa noudatetaan seuraavia vaatimuksia:

Minimivaatimukset:

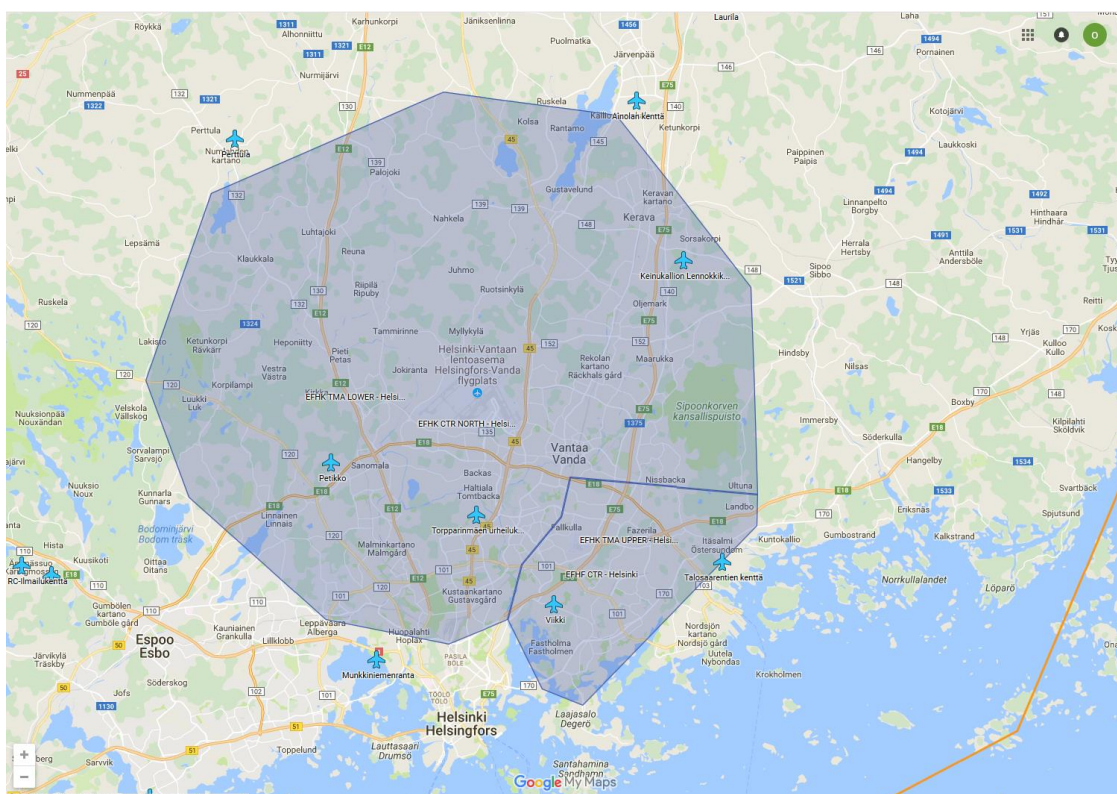
- Tee [toimijailmoitus](#) Trafin sähköiseen järjestelmään ja muista pitää ilmoituksen tiedot päivitettyinä, kun yhteystietosi tai ilma-aluksesi muuttuvat. Ilmoitus maksaa 20€ / vuosi.
- Hae vastuuvakuutus kolmansien osapuolien vahinkoja vastaan, joka täyttää [vakuutusasetuksen \(EY\) 785/2004](#) vaatimukset. Vakuutusta hakiessasi tarvitset diaarinumeron Trafilta todisteeksi toimijailmoituksesta, joten pyydä numero sähköpostilla Trafilta (RPAS (at) trafi.fi). Vakuutusyhtiöitä kannattaa kilpailuttaa, koska hinnoissa on ollut eroja.
- Merkitse kaikki ilma-aluksesi tarralla, josta käy ilmi vastuullisen henkilön nimi ja yhteystiedot.
- Kirjaa ylös vaaditut tiedot kaikista lennoistasi lentopäiväkirjaan. Toteutustapa lentopäiväkirjasta on vapaa kunhan siitä käy ilmi kaikki tarvittavat tiedot ja tietoja säilytetään vähintään kolme vuotta.
- Kun lennätysten yhteydessä sattuu vahinko tai läheltä piti -tilanne, tulee asiasta laatia [raportti Trafille](#). Raportin tekeminen ei johda rangaistukseen vaan tilanteita katsotaan ilmailun "Just Culture" käytäntöjen mukaan oppimistarkoituksessa.

Lisävaatimukset, jos lennetään asutuksen tai väkijoukon päällä:

- Ilma-aluksen massan tulee olla enintään 7kg, johon ei lueta laskuvarjon painoa.
- Häätötilanteessa tulee pystyä laskeutumaan siten, että ulkopuolisiin ihmisiin ja omaisuuteen kohdistuva vaaraa on mahdollisimman pieni. Tämän vaatimuksen voi täyttää, joko toimintatavalla, ilma-aluksen varustuksella tai kummallakin.
- Laadi toimintatapa kohtainen turvallisuusarviointi, joka sisältää vaaratekijöiden tunnistamisen, riskien arvioinnin ja riskien vähentämisen toimenpiteet.
- Laadi toimintaohjeistus normaali- ja häiriötilanteille, jossa kuvataan tarvittavat toimenpiteet.
- Säilytä kirjallisia dokumentteja vähintään 3 kuukautta.

(RPAS lentotyötoiminta. Trafi 2017).

Lentotyön aloittamista suunniteltaessa pyrittiin heti alusta saakka luomaan turvallinen lentämisen kulttuuri ja varmistumaan että ohjeita noudatetaan tarkasti. Vaaditut toimijailmoitukset, turvallisuusarvioinnit ja toimintaohjeet on laadittu ja toimitettu viranomaiselle. Lisäksi ohjeet, turvallisuusarviointi ja muuta lomakkeet sekä vakuutusasiakirjat ja tekniset ohjeet kulkevat aina kopterin mukana. Kerava sijaitsee myös lentokentän CTR-alueella joka rajoittaa lentokorkeuden 50 metriin koko Keravan alueella. (Kuva 2.) Kolmannen osapuolen vastuuvakuutus lentotoimintaa varten on otettu IF-vakuutusyhtiöltä.



Kuva 2. Helsinki-Vantaa lentoaseman CTR-alue

3.3 Ohjelmisto aineiston käsittelyyn

RPAS-laitteistolla hankitun kuvamateriaalin käsittelyyn vaaditaan fotogrammetrian menetelmiä käyttävä ohjelmisto. Ohjelmistolla lasketaan kuvien keskinäinen orientointi, siirretään kuvat paikalliseen koordinaatistoon georeferoimalla ne signaalipisteiden avulla ja muodostetaan ns. pistepilvi kuvasta. Tämä perustuu fotogrammetrian toimintoon, joka käsittelee 3D-avaruudessa olevien pisteiden geometrisia relaatioita fyysisten objektien

välillä verrattuna niitä kuvaaviin 2D-kuviin. Tämän pohjalta muodostettu stereoyhteensovitus mahdollistaa 3D-informaation keräämisen kuvilta. (Teittinen 2017: 19–20). Ohjelmistoilla muodostetaan kuvista LAS-pistepilvi, joka voidaan käsitellä eri muotoihin esimerkiksi tasoittaen pinnat MESH-malliksi, erilaisiksi rasterikorkeusmalleiksi (DTM, DEM, DSM) sekä edelleen muodostaa tekstuureja alkuperäisten väriarvojen perusteella (Teittinen 2017: 22).

RPAS-laitteistojen tarjouspyyntöjen yhteydessä edustajat tarjosivat ohjelmistoja datan käsittelyyn. Vaihtoehtoina tarjottiin Agisoft- ja Pix4D-ohjelmistoja, jotka lienevät tällä hetkellä yleisimmin käytössä. Lisäksi kuvatiedostojen käsittelyyn ja muokkaukseen on saatavissa ohjelmistoja esimerkiksi Terrasolidilta (esim. Terraphoto UAV) ja AutoCadilta (ReCap). Kuten aiemmin mainittu, ratkaisi ESRIn kuntalisenssin mukana saatava Drone2Map-ohjelmisto ohjelmiston valinnan Keravan ja Järvenpään yhteishankinnassa.

Drone2Map on suhteellisen uusi tulokas ESRIn tuotevalikoimassa, ja ESRIn omien sivujen mukaan D2M perustuu Pix4D-ohjelmistoon (*powered by Pix4D*). Ohjelmisto poikkeaa Pix4D:stä selkeimmin siinä, että laskenta tapahtuu pilvipalvelimen sijaan paikallisesti koneella. Keravalla ja Järvenpäällä on käytössä yksi kiinteä ja yksi kelluva lisenssi, joista kiinteä lisenssi on asennettu Keravalla pöytämalliselle ns. tehokoneelle. Drone2Map-ohjelmisto on suunniteltu toimimaan yhdessä ESRIn ArcGis-ohjelmistokokonaisuuden kanssa (ArcGis Pro, ArcGis Desktop ja ArcGis OnLine). Itse Drone2Map-ohjelmisto on tarkoitettu käytettäväksi kuvien ja pistepilvien laskentaan, mutta niiden pidemmälle viety editointi, kuten pistepilven luokittelu tapahtuu muissa ohjelmistoissa. Drone2Map mahdollistaa kuitenkin aineiston julkaisemisen suoraan ArcGis OnLineen, minkä ansiosta esimerkiksi ortokuvat ovat nopeasti kolmannen osapuolen katsottavissa.

4 Käytännön RPAS-toiminta

4.1 Ohjeistus ja turvallisuus

Keravalla ja Järvenpäässä yksi tärkeimmistä lähtökohdista RPAS-toiminnalle on alusta saakka ollut turvallisuus. Turvallisen lentotoiminnan takaamiseksi aloitettiin turvallisuus- ja lento-ohjeiden laatiminen jo ennen lentotoiminnan aloittamista. Tällä haluttiin varmistaa että RPAS-laitteiston kanssa toimiva henkilökunta ymmärtää lentotoimintaan liittyvät

säännöt, riskit ja lentotoiminnan periaatteet. Ohjeistuksella haluttiin myös varmistaa tasalaatuinen aineiston tuottaminen. Keravan ja Järvenpään RPAS-toiminnan ohjeistus jakautuu kahteen osaan ja se sisältää seuraavat dokumentit (liitteet 1–5):

Yleisohjeet

- RPAS-lennättämisen toimintaohje
- RPAS-toiminnan käsikirja
- Phantom 4 Pro ohjekirja
- DJI Groundstation Pro ohjeet

Lentämiseen liittyvät lomakkeet

- RPAS-lentopäiväkirja
- RPAS-tarkastuslista
- RPAS-turvallisuusarviointilomake.

Periaatteena ohjeistusta laadittaessa oli se, että sen luettuaan ja sisäistettyään on valmis lennättämään kopteria. Ohjeistuksen lisäksi tehdään lentoharjoituksia, joissa keskeytetään lento-ohjelma ja kopteri ohjataan manuaalisesti lähtöpaikalle tai laskeudutaan turvalliseen paikkaan. Tähänastisista lennoista (21 kpl) kaikki on suoritettu VLOS-lentoina (*visual line of sight*), joissa pilotilla on jatkuva näköyhteys kopteriin. BVLOS-lentoja (*beyond visual line of sight*), eli lentoja joissa käytetään tähystäjää, ei ole vielä tehty. Suuret kohdealueet, kuten esimerkkikohteena esitelty Mt148, on lennetty VLOS-lentoina useammassa osassa.

Käsikirjan pohjana käytettiin Trafifin valmispohjaa ”Miehittämättömän ilmailun toimintakäsikirja (Miehittämättömän ilmailun käsikirja. Trafi 2017) johon on täydennetty tarvittavat tiedot Keravan ja Järvenpään toiminnasta. Muiden ohjeistusten ja dokumenttien mallina käytettiin Metropolia-ammattikorkeakoulun tuottamia RPAS-dokumentteja. Tärkeä osa RPAS-toiminnan ohjeistusta on niiden päivittäminen. Jokainen ohje on merkitty versiotunnuksella sekä päivämäärällä ja ohjeistusta päivitetään vähintään vuosittain.

Tulevan NPA 2017-05 ehdotuksen myötä (EASA 2017) RPAS-toiminnassa tulee tapahtumaan huomattavia muutoksia, joiden huomioiminen on helpompaa kun valmiina on jo

laajapohjainen ohjeistus. Vielä on epäselvää, millaisia muutoksia alalla tulee tapahtumaan, mutta ainakin lentotoiminnalle tullaan laatimaan selkeät toimintaprofiilit ja niiden myötä koulutusvaatimukset miehittämättömän ilmailun toimijoille. Toinen merkittävä uudistus on selkeät vaaratilanneskenaariot, jotka helpottavat turvallisuusarvioinnin tekoa. Turvallisuusarviointi onkin ollut yksi haasteellisimmista kohdista lentotoiminnan yhteydessä, ja sen selkeyttäminen on selkeä parannus toiminnan turvallisuuden arviointiin. Merkittävä seikka tulee olemaan myös koptereiden rekisteröiminen yksilöimällä ne tunnuksin, vaikka rekisteröinnin toteutustapa on vielä epäselvää.

4.2 Lennon toteuttaminen, rajoitukset ja signalointi

4.2.1 Lennon suunnittelu ja valmistelut

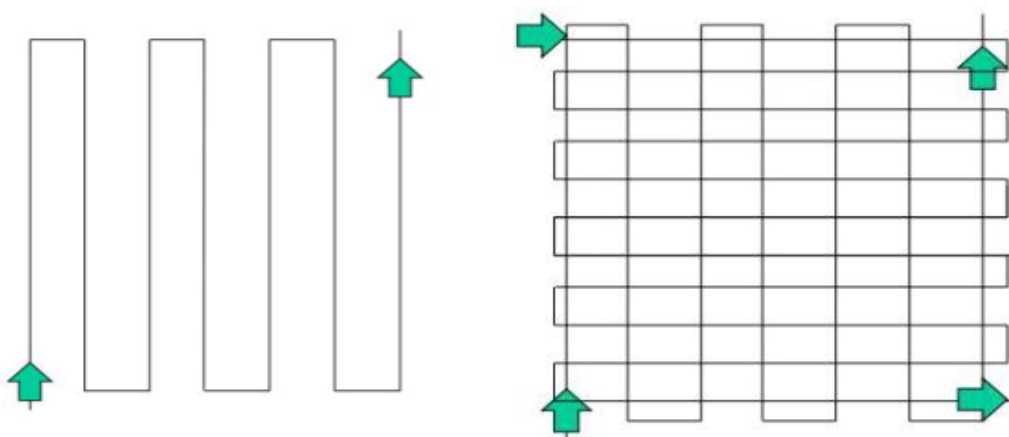
Lennon suunnittelu alkaa ensimmäiseksi kartoitustarpeen toteamisesta ja lentoalueen rajauksesta. Lennon toteuttamista helpottaa selkeä suunnitelmallisuus siitä, mitä halutaan tehdä (Colomina ym. 2014: 83). Se, onko tarkoitus kuvata ortokuvaa vai tehdäänkö viistokuvauksella mallia, vaikuttaa hyvin paljon lentoihin käytettävään aikaan ja niiden määrään. Jos mahdollista, kannattaa lentoalueeseen tutustua käymällä kohteella ennen lennon suoritusta. Tämä helpottaa lennon suunnittelua antamalla hyvän kokonaiskuvan alueesta sekä siitä, miten lennon tavoitteet saa parhaiten toteutettua huomioiden, että etäisyys kopterin ja lennättäjän olisi maksimissaan noin 500 metriä (Ilmailu – miehittämättömät ilma-alukset ja lennokit. 2017. Usein kysyttyä.). Samalla voi tarkastella lennätyspaikkoja näkyvyyden kannalta (VLOS/BVLOS), ja pohtia kuinka monella lennolla kuvaus toteutetaan sekä tehdä valmiiksi signalointipisteet tai varmistua sopivien signaalipisteiden riittävästä määrästä. Kohteeseen tutustuminen helpottaa myös turvallisuusnäkökohtien pohtimista. Erittäin tärkeää on selvittää myös mahdolliset lentoalueella vaikuttavat erilaiset rajoitukset. Kätevä työkalu alueen rajoitusten selvittämiseen on älypuheliin tai tablettiin asennettava Trafin tuottama Droneinfo-sovellus (Google Play), jonka avulla on mahdollista tarkistaa lentokieltoalueet, rajoitusalueet ja korkeusrajoitukset sijainnin perusteella.

Lennon valmisteluvaiheessa varmistetaan, että kalusto on toimintakunnossa, lennon suunnitteluohjelmistot ja kopterin ohjelmistot on päivitetty viimeisimpään versioon ja yleisesti tarkistetaan kopterin toimintaedellytykset. Erittäin tärkeää on ottaa huomioon myös

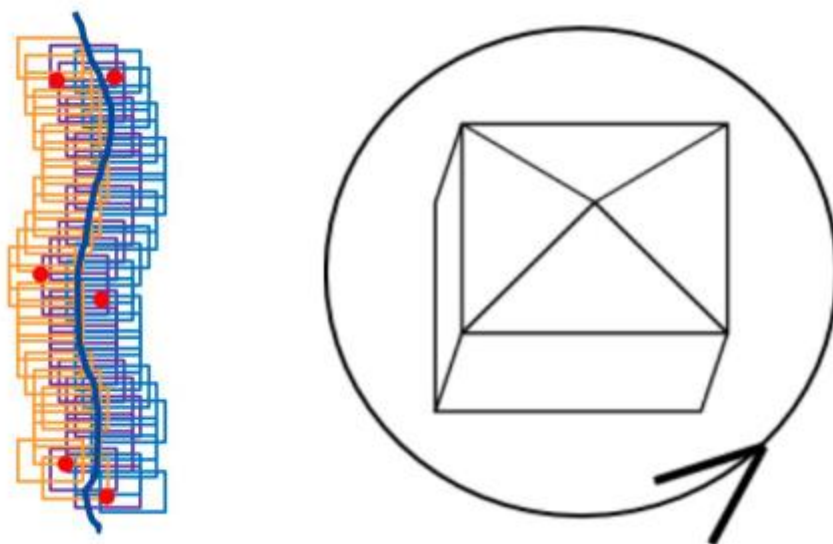
säätila ja varmistaa, että lento-olosuhteet ovat kopterivalmistajan antamien rajojen sisällä. Keravalla ja Järvenpäässä käytetään lennonvalmistelussa erillistä muistilistaa, jossa käydään läpi kohta kohdalta kopterin lennättämiseen liittyvät kohdat (liite 4).

Lennonohjaukseen ja lentämiseen Keravalla ja Järvenpäässä käytetään DJI:n tuottamia DJI Groundstation Pro (lennonsuunnittelu) ja DJI GO (vapaa lentäminen) sovelluksia, joita käytetään Applen iPad Pro -tabletilta. Hyväksi tavaksi on muodostunut suorittaa kaikkien lennon aikana käytettävien laitteiden testaus ”toimistolla” ennen lentopaikalle lähtöä. Testauksen ajaksi kopterista irrotetaan potkurit, minkä jälkeen kaikki laitteet (iPad, kauko-ohjain ja kopteri) käynnistetään. DJI:n laitteistolla tämä on erityisen suositeltavaa, sillä käynnistyksen yhteydessä asentuvat mahdolliset uudet päivitykset ja ilman uusimpia päivityksiä lennon suorittaminen ei onnistu. Sisätiloissa on myös helpompaa suorittaa lentoradan suunnittelu ja säätää muut lennon parametrit kohdalleen.

Lento suunnitellaan ja tallennetaan DJI GS Pro -ohjelmistolla. GS Pro käyttää taustakarttoina Googlen karttapalveluja ja ilmakuvia joiden avulla kuvausreitien suunnittelu on helppoa. Samassa ohjelmistossa määritetään myös kopterin ja kameran säädöt. Aluksi nimetään projekti ja määritellään lennon malli GRID (rajattu alue), POI (yksittäinen kohde kiertäen ympyrää) tai ROUTE (reitti).



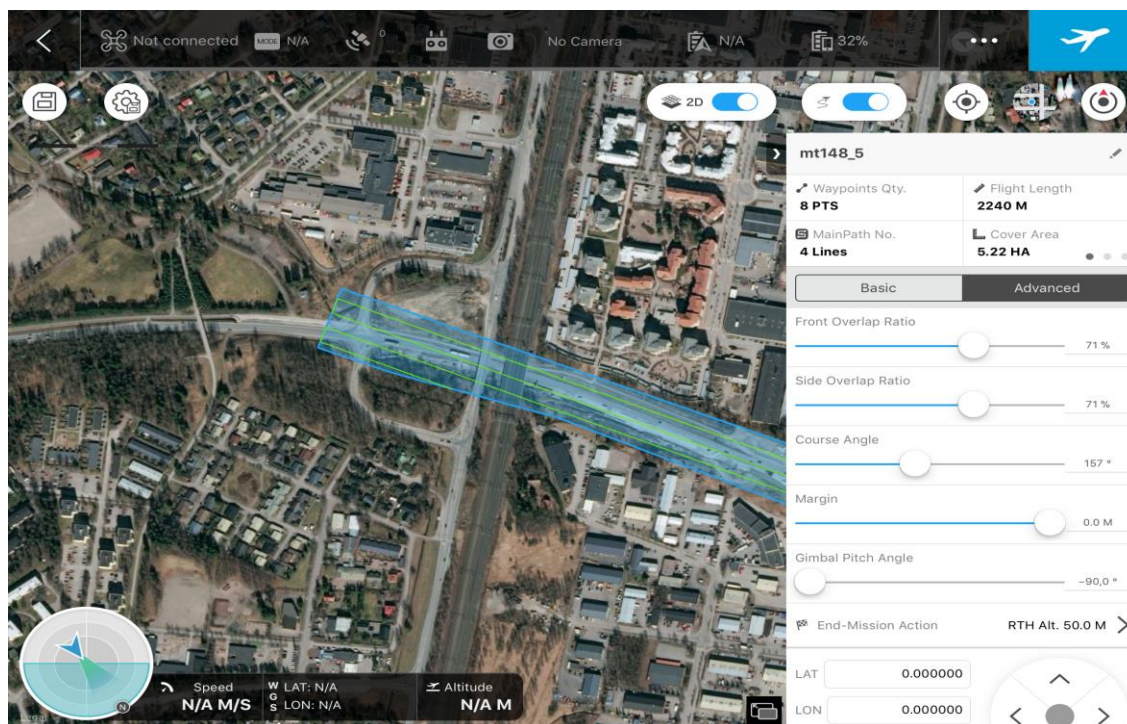
Kuva 3. GRID-kuvaus, vasemmalla ortokuvauksen yksisuuntainen lentorata, oikealla viistokuvauksen lentorata (neljästä suunnasta) (Kansallinen maastotietokanta-hanke (KMTK) 2016-2017).



Kuva 4. Vasemmalla ROUTE-kuvaus, esim. tie, oikealla POI eli kohteen ympärillä lennety kuvauslento (Kansallinen maastotietokanta-hanke (KMTK) 2016-2017).

Tärkeimmät säädöt lennonvalmistelussa ovat seuraavat:

- Kameran kulma, pystykuva (nadiiri) 90° tai viistokuvaus 45° (Jizhou ym. 2004: 2)
- Kameran suljinnopeus, 1/400 tai 1/500 todettu parhaiksi, muut säädöt automaattilla, tämä korostuu erityisesti kuvattaessa hämärässä ja liikkeessä
- Kuvaustapa, liikkeestä vai paikaltaan (paikaltaan kuvaamista rajoittaa kuvauskohtien (*waypoints*) maksimimäärä 100, sopii pienelle alueelle)
- Kuvien sivuttais- ja eteenpäinpeitto. (Onnistuneen kuvamateriaalin tuottamiseen vähintään eteen 70 % ja sivuille 70 %, peitto pystykvauksessa (nadiirissa) mieluiten yli 70 %)
- Kuvausreitti, lennetäänkö kerran (ortokuva) vai useasti eri suunnasta (viistokuvaus)
- Maksimilentokorkeus (Kerava max 50 m Järvenpää max 150 m) ja lentonopeus (osittain automaattinen)
- Lentoreitti.



Kuva 5. Kuvakaappaus DJI Groundstation Pro lennonsuunnitteluohjelmasta, oikeassa reunassa säädetään kuvauksen eteen- ja sivuttaispeittoa, keskellä kuvausalue GRID, lentorata

Kun tarkistuslista on käyty läpi ilman huomautuksia ja lennonsuunnittelu tehty, valmistaudutaan lennon suorittamiseen.

4.2.2 Lennon toteutus

Lento aloitetaan varmistamalla lähtöpaikan turvallisuus ja vallitseva säätila. Ihanteellinen lentosää on pilvinen ja tyyni sää, jolloin lento- ja valaistusolosuhteet ovat kuvien kannalta optimaaliset eivätkä varjot aiheuta kontrasteja. Lähtöpaikka tulee rajata esimerkiksi huomiomerkein, erityisesti jos lähtö/laskeutumipaikan läheisyydessä sijaitsee pyörätie tai liikkuu mahdollisesti ihmisiä tms. Tuulen nopeus on hyvä tarkistaa Trafin ylläpitämällä Droneinfo-sovelluksella, joka näyttää vallitsevan ilmailusään, ennen kaikkea tuulen nopeuden. Ennen lennon aloitusta on täytettävä lentopäiväkirjalomake ja lennon turvallisuusarviointilomake. Tämän jälkeen on syytä käydä vielä kerran läpi lento-ohjelman asetukset, kopterin akkujen lataus (täysi) ja kopterin potkurien kiinnitykset sekä varmistaa, että muistikortti on asennettu paikoilleen.

Lentosuunnitelman kopteriin latauksen jälkeen on itse lento mahdollista suorittaa nykyisillä lento-ohjelmilla täysin automaattisesti. Lento-ohjelma suorittaa moottorien käynnistyksen, nousun suunniteltuun lentokorkeuteen, vie läpi lentoreitin sekä kuvauksen ja laskeutuu tämän jälkeen lähtöpaikalleen. Käytännössä automaattiohjelma on toiminut hämmästyttävän hyvin noususta aina laskeutumiseen saakka. Mielestäni on kuitenkin suositeltavaa hoitaa ainakin laskeutuminen itse lentotaidon ylläpidon vuoksi.

Kun lennot suoritetaan VLOS-lentoina, on tärkeää koko ajan seurata katseella, missä kopteri liikkuu. Kopterin liikkeen seuraaminen reaaliajassa on mahdollista myös tabletin näytöltä, mutta tärkeämpää on havainnoida kopterin liikkeitä suoraan. Tällöin mahdollisten vaaratilanteiden aiheuttajien, kuten lintujen, havaitseminen on helpompaa. Toisaalta kuvausohjelmiston toteutumista voi seurata ainoastaan tabletin näytöltä, mutta esimerkiksi kuvanottoäänien voimakkuuden voi säätää voimakkaaksi, jolloin kuvausta voi seurata kuulon avulla. Lennon aikana on pyrittävä pitämään ohjaimen ja kopterin välinen yhteys mahdollisimman suorana. Esimerkiksi korkeat rakennukset voivat aiheuttaa katkoja radioyhteyteen, mikä voi johtaa radioyhteyden katkeamiseen kopterin ja ohjaimen välillä ja aiheuttaa lennon keskeytymisen. Lennätystilanteessa myös ohjaaja itse saattaa liikkua huomattavasti seuratessaan kopteria. Ohjaajan liikkuminen voi aiheuttaa vaaratilanteita paikoilla missä on myös muuta liikennettä ja ohjaajan tulisikin pystyä tarkkailemaan maanpinnalla tapahtuvaa liikennettä lennon aikana.

Lennon keskeytyksen manuaalinen hallinta on erittäin tärkeää. Vaikka DJI:lla on lennon ohjaus- ja suunnitteluohjelmistoissaan *Return home* -toiminto, joka keskeyttää lennon ja ohjaa kopterin suorinta reittiä takaisin lähtöpaikalle tai laskee kopterin hitaasti maahan, on erittäin tärkeää ylläpitää taitoa ohjata kopteri takaisin ja laskeutua myös manuaaliohjauksella. Keravan ja Järvenpään kopterin lentokäsikirjassa vaaditaankin säännöllistä harjoittelua lennon manuaalisen keskeyttämisen ja takaisin lennon hallintaan. Vaikka nykyohjelmistot mahdollistavat täysin automatisoidut lennot, on lennon suorittaminen silti keskittymistä vaativaa ja hieman ”sykettä nostavaa” toimintaa. Lennätystilanteessa poikkeustilanteet tulevat eteen hyvin nopeasti, ja siksi on tärkeää, että ohjaaja todella hallitsee kopterinsa. Lennon ohjaajan on saatava suorittaa työnsä rauhassa ilman ylimääräisiä häiriötekijöitä.

4.2.3 Signalointipisteet

Signalointipisteiden avulla kuva-aineisto georeferoidaan paikalliseen koordinaatistoon. Koptereiden ottamat kuvat sisältävät kuvan ottamishetken koordinaatit WGS84-koordinaatistossa, ja kopteri saa sijaintitietonsa GPS:n kautta ilman RTK-korjausta, joten signalointipisteet ovat välttämättömiä mittatarkan aineiston tuottamiseen. Signalointipisteiden tulisi levittyä tasaisesti kartoitettavalle alueelle (Teittinen 2017: 20) siten että ne ovat georeferointia suoritettaessa kontrolloitavissa vähintään kolmesta kuvasta.

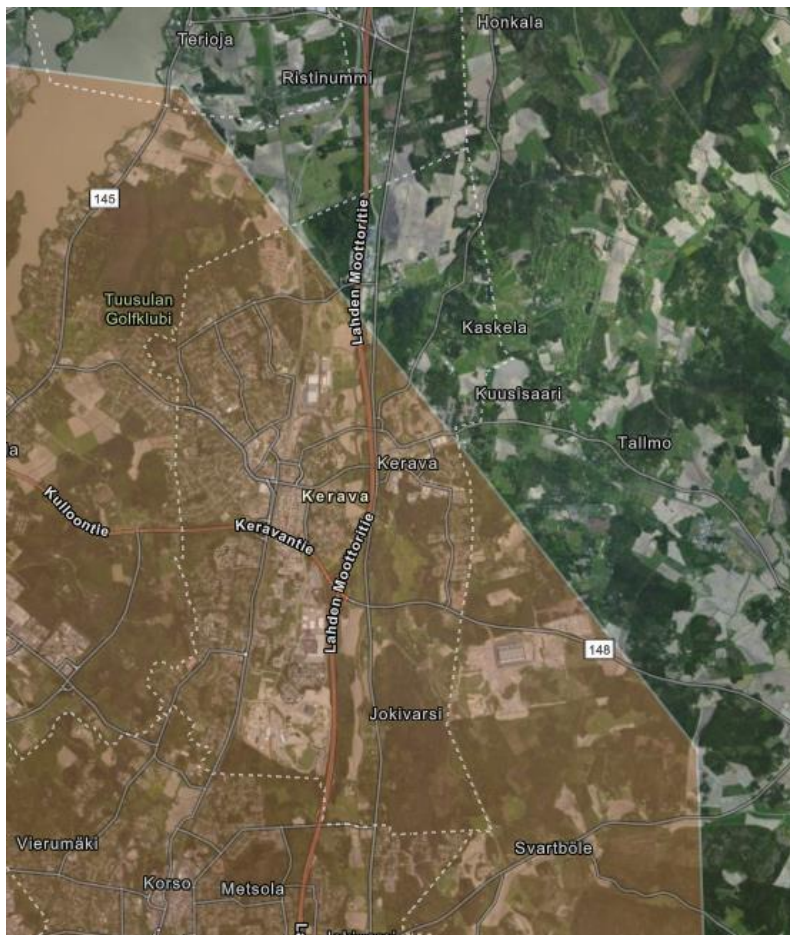
Testikohteissa signaalipisteiden määrä oli 7-12. Tämä mahdollistaa parhaan lopputuloksen georeferoinissa (Drone2Map for ArcGIS Help 2017: manage GCPs). Signalointipisteinä on mahdollista käyttää joko selkeitä maanpinnalla erottuvia kuvioita, kuten tiemerkintöjä, tai pisteet voi tehdä itse joko kuviotauluilla tai maalimerkeillä. Omassa työssäni olen suosinut maalimerkkejä, joiden sijoittaminen parhaille paikoille on helppoa ja teko nopeaa. Jos signalointipisteinä käytetään esimerkiksi tiemerkintöjä, on niistä hyvä tehdä muistiinpanot esimerkiksi älypuhelimella mittauksen yhteydessä jotta signaloinnin yhteydessä ei synny sekaantumisen vaaraa.

Signalointipisteet voi mitata joko takymetrillä tai RTK-GNSS-mittauksella. GNSS-mittausta käytettäessä on piste hyvä mitata vähintään kahteen kertaan ja suorittaa alustusmittausten välillä, jolloin pisteiden tarkkuus tulee kontrolloitua. Mitä tarkempi signalointi on, sitä parempi georeferoinnin tulos. (esim. Teittinen 2017: 31, 34; Barazetti 2010: 4.) Mittaus kannattaa suorittaa joko ennen tai jälkeen lennon ja suositeltavaa on suorittaa mittaus lentotoiminnan yhteydessä etteivät signalointipisteet pääse katoamaan. Signaalipisteiden määrää voi täydentää jälkeinpäin, jos georeferoinnissa havaitaan ongelmia tai pisteistö kaipaa täydennystä.

4.2.4 Rajoitukset

RPAS-toimintaa koskevat erilaiset rajoitukset lennätyspaikasta riippuen. Esimerkiksi Kerava sijaitsee lähes kokonaan Helsinki-Vantaan lentoaseman lähialueella (CTR-alue, kuva 6), mikä rajoittaa lentokorkeuden Keravalla maksimissaan 50 metriin. Tämä vaikuttaa erityisesti lennettävien alueiden kokoon, kuvien määrään ja pikselikokoon (GSD). Esimerkiksi kahden hehtaarin kokoisen alueen kuvaamiseen 50 metrin korkeudelta vaa-

ditaan halutun 70 %:n peiton saavuttamiseksi enemmän kuvia kuin 100 metrin korkeudesta kuvattuna. 50 metrin korkeus mahdollistaa hieman tarkemman kuvalaadun, mutta toisaalta suurempi kuvamäärä hidastaa Drone2Mapilla tehtyä jälkikäsitelyä, kuten ortokuvien tekoa.



Kuva 6. Helsinki-Vantaa lentoaseman CTR-alue Keravan kohdalla.

Toinen merkittävä rajoitusten aiheuttaja on säätila. Sateisella tai liian tuulisella, yli 8 m/s, säällä ei kuvauslentoja DJI Phantom 4 Prolla voida tehdä, minkä vuoksi vuoden 2017 kesä ja syksy olivat kuvausten kannalta todella haasteellisia. Lentotoimintaa suorittavan henkilökunnan muut työtehtävät yhdistettynä säätilan aiheuttamiin rajoituksiin aiheuttivat välillä suuria haasteita lentojen suorittamiseen. Sopivan lentosään kohdalle sattuesssa tapahtui usein niin, että lentotoiminnasta vastaavalla henkilöllä oli suoritettavana muita maastomittauksen mittaustehtäviä. Tämä rajoitti huomattavasti suoritettujen lentojen määrää.

4.3 Datan käsittely, pistepilven ja ortokuvien teko Drone2Map-ohjelmistolla

Kopterilla kerätyn kuvadatan käsittely tapahtuu ESRI:n Drone2Map-ohjelmistolla. Ohjelma perustuu Pix4D-ohjelmiston moottorille, joka on hyvin yleisesti käytössä kopterilla tuotetun datan käytössä. Suurimpana erona ohjelmistojen välillä on se, että D2M suorittaa laskennan paikallisesti koneella, kun taas Pix4D:ssä kuvien prosessointi tapahtuu pilvipalvelun tai työasemasovelluksen kautta. Kokonaisuudessaan D2M on riisutumpi kuin Pix4D, siitä esimerkiksi puuttuu pistepilven luokittelu ja lento-ohjelmien suunnittelu. D2M onkin selkeästi suunniteltu käytettäväksi osana ESRI:n ArcGis-tuoteperhettä, ennen kaikkea ArcGis Pro -version kanssa. D2M:lla tuotettu aineisto on myös helppo jakaa ESRI:n pilvipalveluissa kuten ArcGis OnLinessa.

Kuvien käsittely perustuu fotogrammetriaan, jossa kuvien stereosovituksella etsitään kuvista vastaavuuksia piirteitä tai intensiteettiarvoja vertaamalla. Näiden pohjalta muodostetaan ortokuva, joka on ortogonaalinen virheetön projisointi kohdealueesta ilman perspektiivisiä vaikutuksia (Segales 2016: 931; Teittinen 2017: 19). Kuvien vastaavuuksien, intensiteettiarvojen tai piirteiden ja kameran sijaintitiedon avulla muodostetaan eteenpäinleikkauksella kohdepisteen 3D-koordinaatti. 3D-pistetiedon perusteella muodostetaan kohteesta DSM, DTM tai 3D-malli (Teittinen 2017: 17–19).

D2M rakentaa projektin alkuvaiheessa tiedostorakenteen, joka sisältää 2D-tuotteet, kuten DTM- ja DSM-pintamallirasterit, korkeuskäyrät ja ortokuvat, sekä 3D-tuotteet, joihin sisältyvät pistepilven tiedostomuodot (zLAS, LAS, PLY ja XYZ) ja teksturoidun MESH-mallin tiedostot (slp-, OBJ-, PLY-, FBX- ja DXF-muodot). Toiminnoiltaan se on riittävä kopteridatan käsittelyyn ja tuottaa selkeän PDF-raportin, josta käy ilmi laskennan onnistuminen, tulokset ja tarkkuus, kuten vastinpisteiden määrä ja signaloinnin onnistumisen sekä kameran orientaation ja asennon keskivirhe. Raportista voi tarkastaa lopputuotteen laatuun vaikuttavat virheet signalointipisteiden merkinnässä ja arvioida tarkkuudeltaan digitointiin käyttökelpoinen alue. Jälkeenpäin raportista on myös helppo tarkistaa prosessoinnin parametrit.

Processing Report



Generated with Drone2Map for ArcGIS

Summary

Project	Posliinikatu_1
Processed	2017-09-11 15:54:56
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_5472x3078 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.32 cm / 0.52 in
Area Covered	0.0307 km ² / 3.0728 ha / 0.0119 sq. mi. / 7.5969 acres
Time for Initial Processing (without report)	41m:17s

Quality Check

Images	median of 43217 keypoints per image	✓
Dataset	230 out of 245 images calibrated (93%), all images enabled, 2 blocks	⚠
Camera Optimization	0.09% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 8858.7 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, 7 GCPs (7 3D), mean RMS error = 0.018 m	✓

Preview



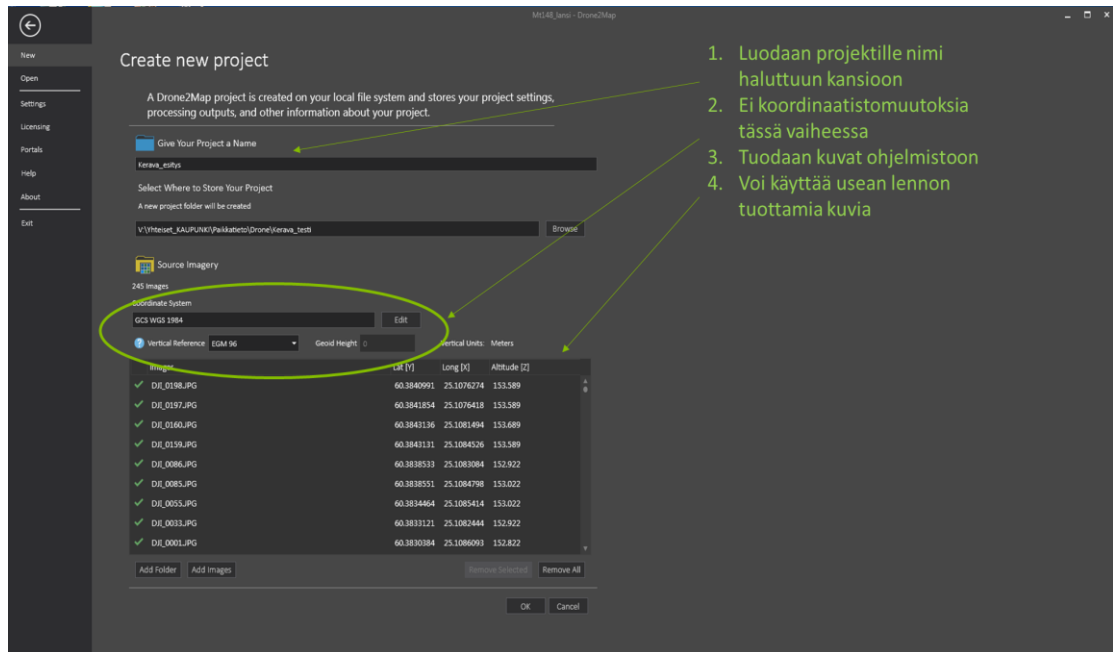
Figure 1: Orthomosaic and its corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details

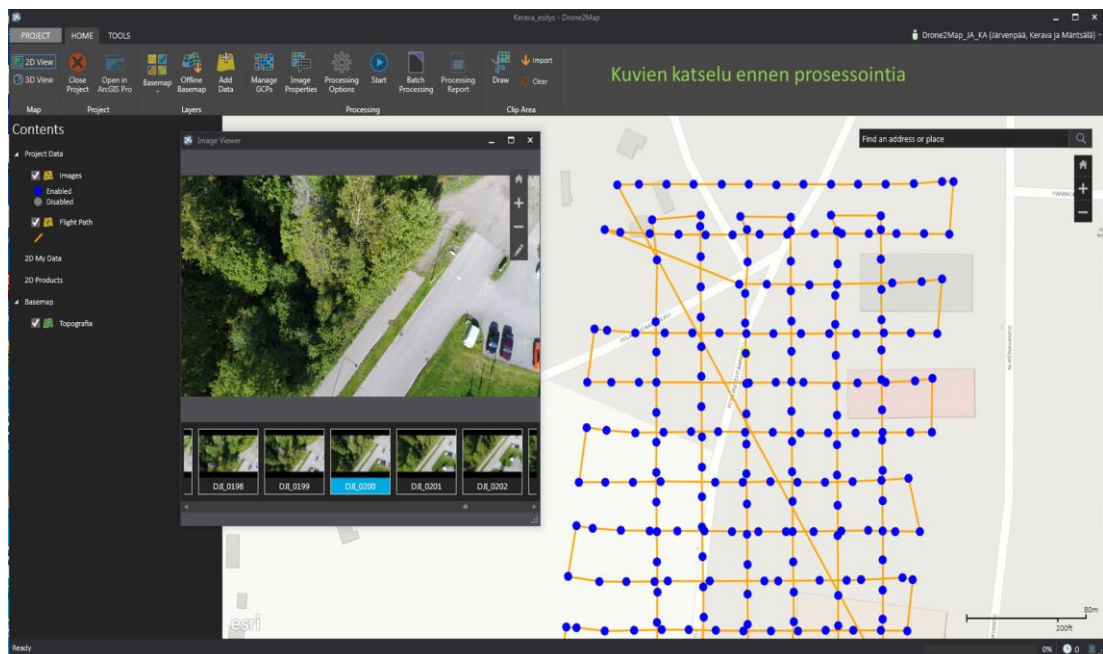
Number of Calibrated Images	230 out of 245
Number of Geolocated Images	245 out of 245

Kuva 7. Drone2Map-ohjelman tuottaman laskentaraportin kansilehti, jossa ovat näkyvissä projektin tiedot, kuvien keskinäiset osumat, käytetty kuvien määrä, kameran parametrit, vastinpisteiden mediaani kalibroiduista kuvista ja kontrollipisteiden suhteellinen keski-
virhe (RMS error), esikatselukuvat ortokuvasta ja DSM-pintamallista.

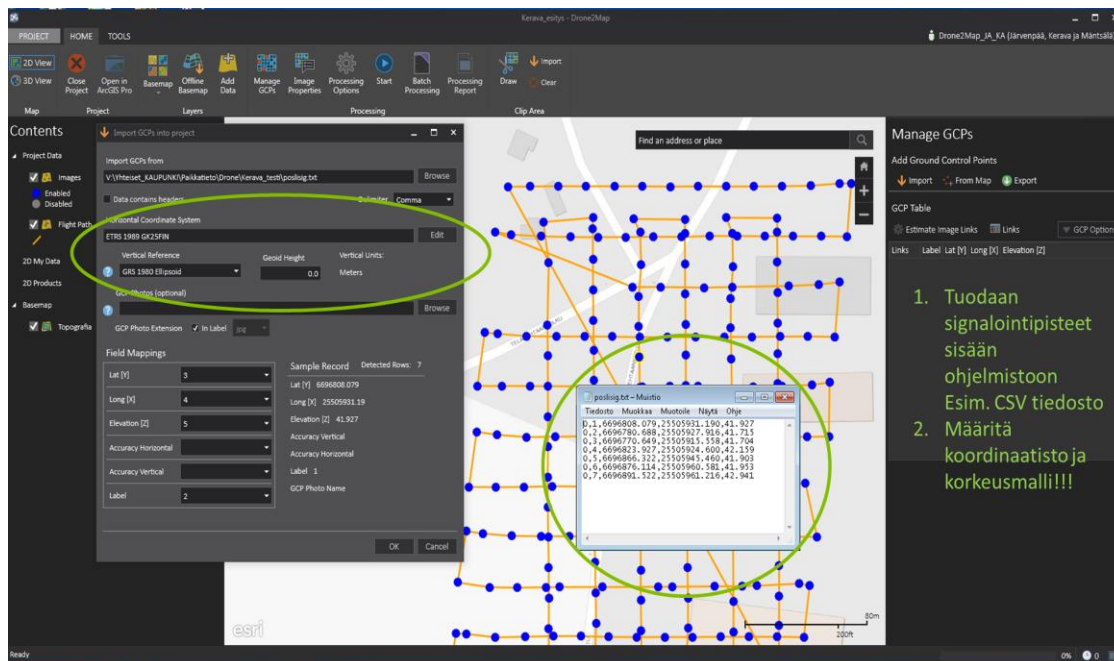
Seuraavissa kuvissa (8–16) käyn kohta kohdalta läpi projektin luomisen ja käsittelyvaihtoehtoja, joita D2M tarjoaa kopteridatan käsittelyyn.



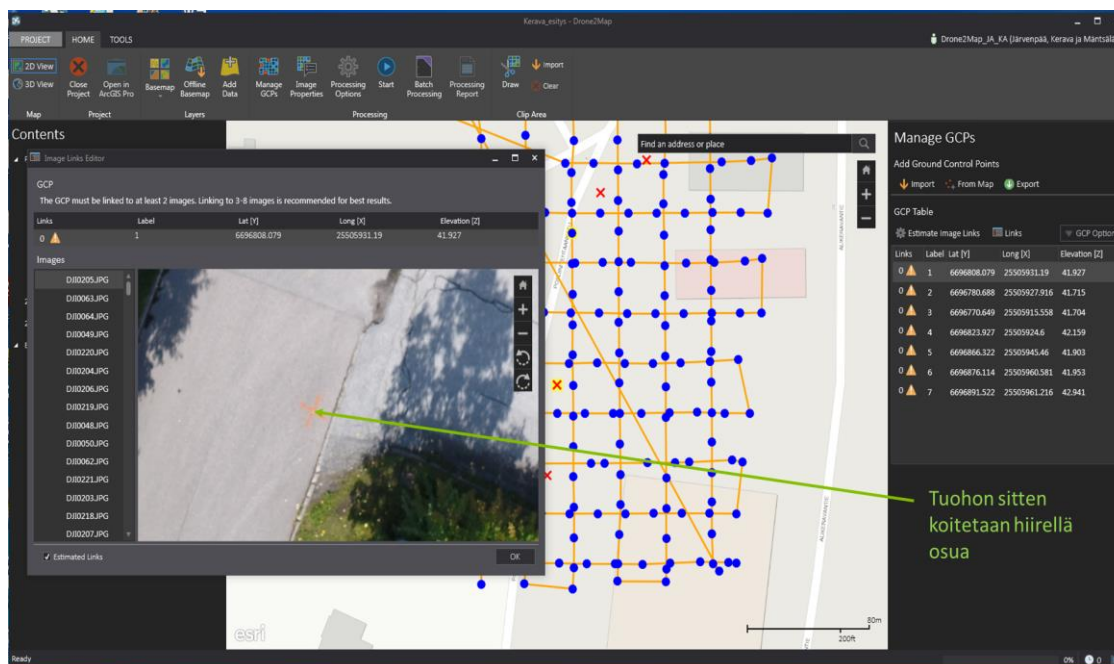
Kuva 8. Projektin aloitus, projektiin on mahdollista tuoda kuvia useilta lennoilta.



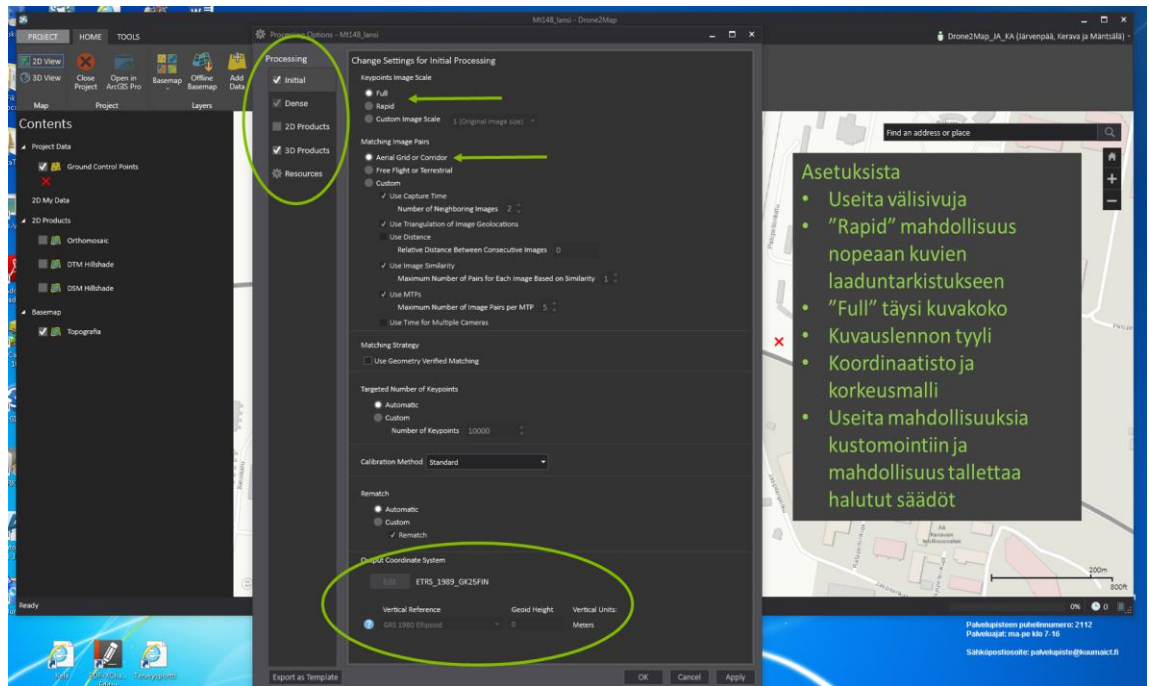
Kuva 9. Yksittäisten kuvien katselu projektin luomisen jälkeen, nähtävissä myös lentorata ja kuvauskohdat.



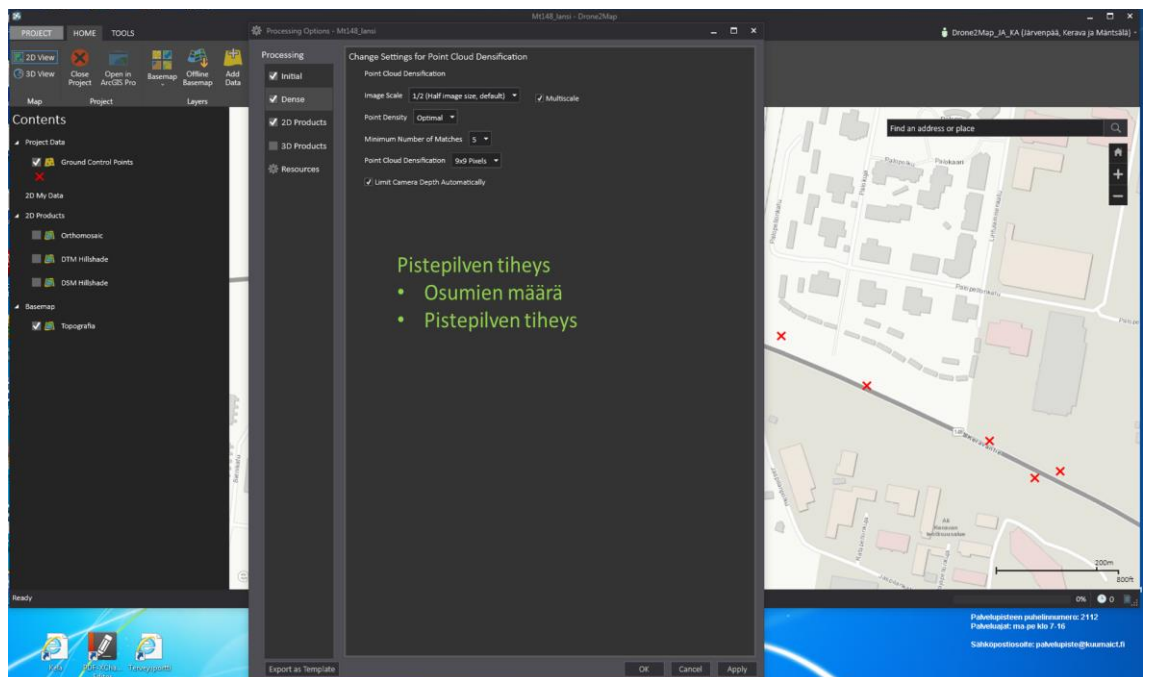
Kuva 10. Mitattujen signalointipisteiden koordinaatit tuodaan työhön, esimerkissä CSV-tiedostona. Tässä vaiheessa on erittäin tärkeää valita koordinaatisto ja korkeusmalli oikein (Keravalla GK25 ja GRS 1980 Ellipsoid).



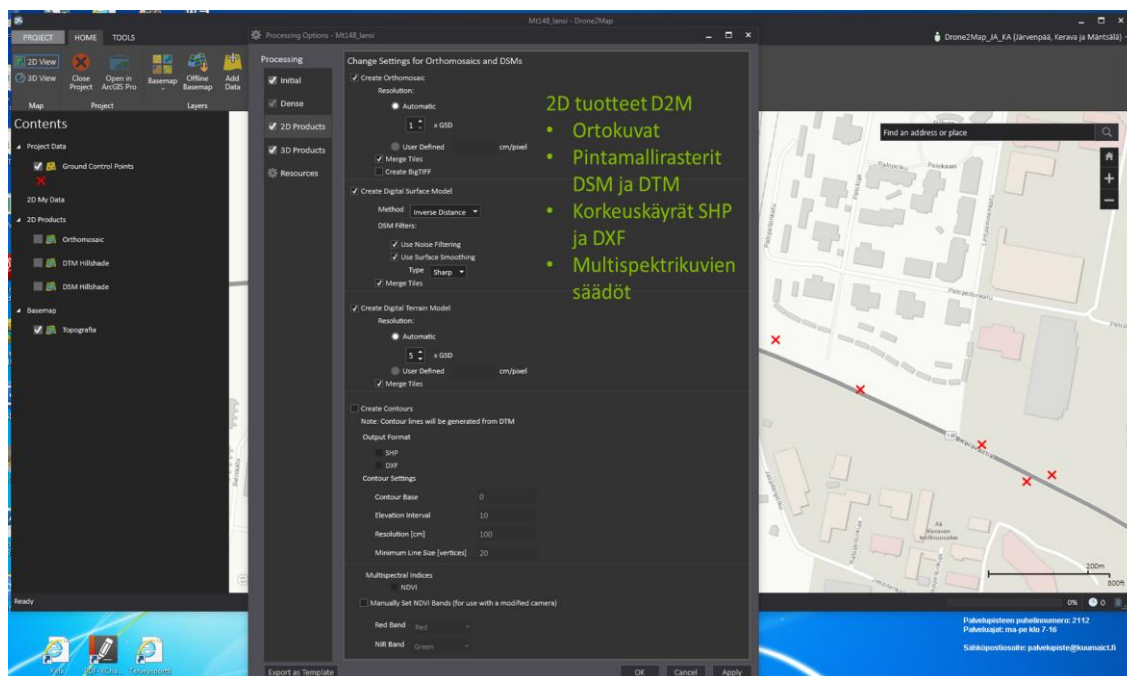
Kuva 11. Signalointipisteiden määrittäminen kuvista, Keravalla todettu hyväksi saada osua vähintään 4-5 kuvasta.



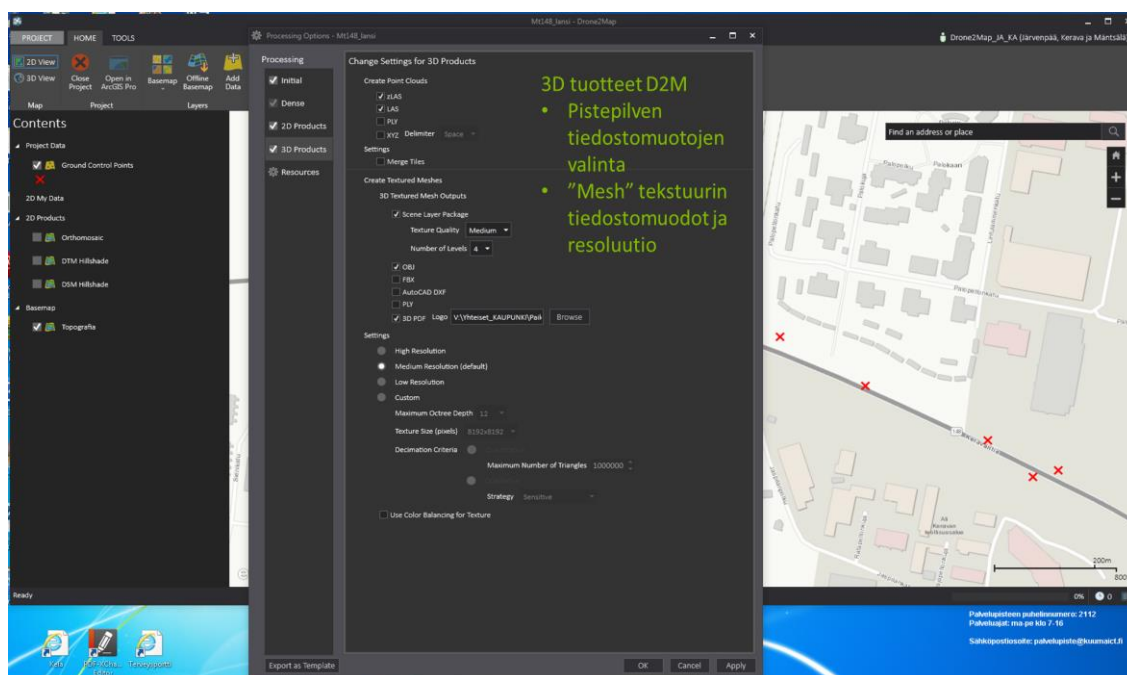
Kuva 12. Seuraavaksi määritellään yleiset asetukset.



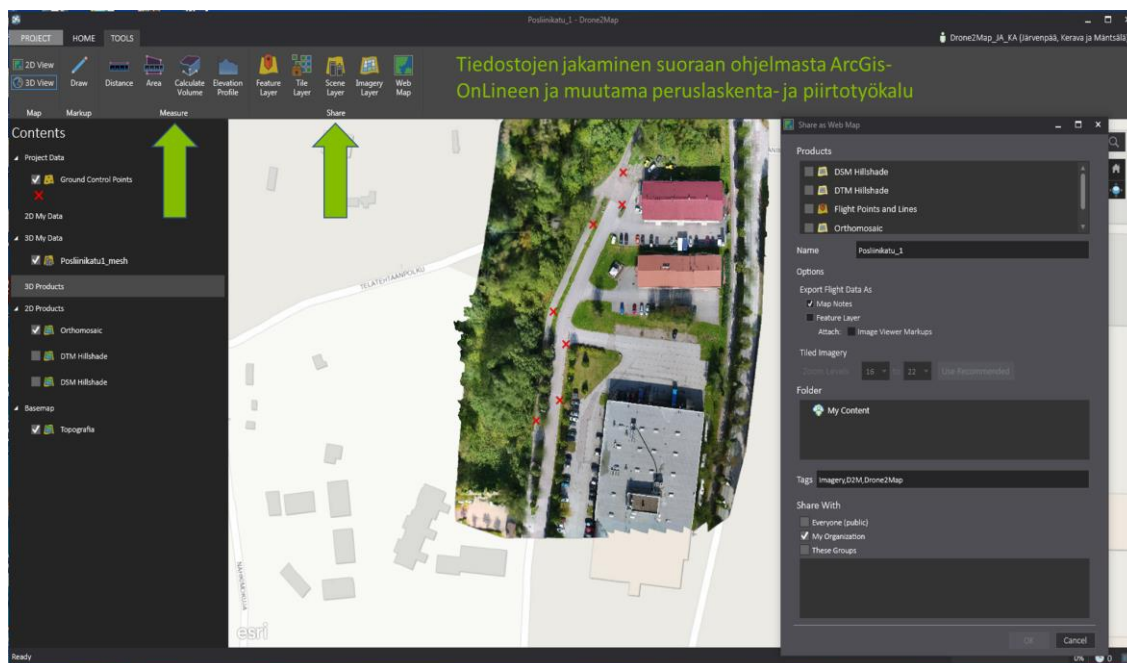
Kuva 13. Pistepilven tiheyden määrittäminen



Kuva 14. 2D-tuotteiden asetusten määrittäminen



Kuva 15. 3D-tuotteiden asetusten määrittäminen



Kuva 16. Muokkausmahdollisuuksia ja jakaminen.

Työskentely D2M-ohjelmiston kanssa on suoraviivaista. Asetuksien säädöillä voi vaikuttaa merkittävästi lopputulokseen, ja niiden kohdalleen saamiseen kannattaa käyttää aikaa. Sopivien asetusten löytäminen voi olla hidasta, koska laskenta tapahtuu paikallisesti ja riippuu siten paljon koneen laskentatehosta. Vaikka Keravalla käytössä on niin kutsuttu tehokone (Intel i7 ja 64 GB muistia, normaali SATA-koivalevy), on laskenta koneen tehosta huolimatta välillä hidasta. Sopivien asetusten löytäminen on pitänyt suorittaa kokeilemalla eri vaihtoehtoja, ja tämä on toisinaan ollut hyvin aikaa vievää. Hyväksi koetut asetukset ja työnkulun voi tallentaa ohjelmaan valmiiksi *batch*-tiedostoksi, jonka avulla kuvien käsittelyprosessin voi automatisoida. D2M:n versiossa 1.2 myös ohjelman kaatumisia tapahtui suhteellisen tiheään.

4.4 D2M-tuotetun aineiston tarkkuus

Kopterilla tuotetun aineiston, ortokuvien, pistepilvien ja pintamallirasterien 3D-tarkkuutta on Keravalla testattu mittaamalla tarkkeita D2M-tuotetusta aineistosta. Tämä suoritettiin ensimmäisten lentojen pohjalta tuotettuun materiaaliin. Testauksen kohteena olivat ortokuvan päälle digitoitujen viivojen XY-tarkkuus ja pintamallien sekä pintamallien pohjalta

viivoille tuodun korkeuden tarkistaminen. Tarkistukset suoritettiin poimimalla pisteitä digitoitujen ja pintamalliin nostettujen viivojen taitepisteistä tai laskemalla viivan keskelle piste sekä valitsemalla pistepilvestä maanpinnan korkopisteitä. Tämän jälkeen pisteet käytiin mittaamassa GNSS-RTK-mittalaitteen maastoonmerkintäominaisuudella ja pisteen XY-sijaintia verrattiin todellisuuteen esimerkiksi tienreunojen kohdalla ja samalla tarkastettiin pisteen Z-erot mittalaitteen näyttämään korkeuteen.

Tulokset olivat XY-koordinaatistossa erinomaisia virheiden jäädessä tarkemmittauksissa 0,5–4 cm:n välille. Korkeudessa sen sijaan oli suurempia, 2–9 cm:n epätarkkuuksia. Erot korkeudessa johtuivat usein pisteen kohdalla olevasta taitekohdasta eli esimerkiksi asfaltin reuna oli digitoidussa kohdassa korkeammalla kuin tien piennar. Täysin tasaisilla kohdilla korkeuserot pysyivät kuitenkin 2–4 cm:n sisällä mitä voidaan pitää hyvänä tuloksena, ja ne täyttävät asemakaavan pohjakartan laatimisen mittaussuorituksen vaatimukset (JHS 185). Selkeää on kuitenkin se, että kopterilla ja D2M:lla tuotetun aineiston 3D-tarkkuuteen ei voi luottaa sokeasti. Vaikka 2D-tarkkuus on Keravalla lennettyillä kohteilla ollut erittäin hyvä, suositellaan jatkuvaa tarkkeiden mittaamista erityisesti korkojen kohdalla. (Ks. myös Tawast 2015: 24, 34.)

Testikohteiden laskentaporttien mukaan kontrollipisteiden suhteellinen keskivirhe RMSE vaihteli 0,1:n ja 0,18:n välillä ja GSD-arvo välillä 1,25–1,40. Näitä arvoja voidaan pitää hyvinä tuloksina, ja ne mahdollistavat ainakin XY-tasossa tapahtuvan 2D-kartoituksen (vrt. Tawast 2015; Teittinen 2017: 31), mutta kuvattujen alueiden reunoilla tapahtuva kuvien päällekkäisyyden väheneminen (kuva 17) ja sitä kautta vastinpisteiden määrän väheneminen huonontaa XY-tarkkuutta. Ennen ortokuvan päälle digitoimista tulee ehdottomasti käydä läpi laskentaporttien tulokset ja todeta ne riittävän tarkkoiksi.

Overlap

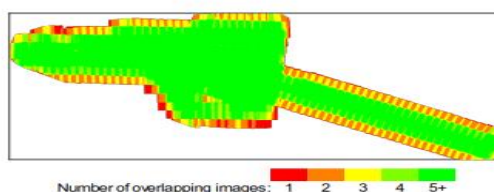


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Kuva 17. Kuvassa D2M-raportista näkyy päällekkäisyyden määrän heikkeneminen reuna-alueilla.

5 Testikohteet

Tässä luvussa esitellään kolme Keravalla kopterilla toteutettua kuvausprojektia ja niissä tuotetun materiaalin käsittely. Esimerkkeiksi on valittu kolme kohdetta, jotka kuvaavat kopterilla suoritettavaan kartoitustoimintaan suunniteltuja pääasiallisia käyttötapoja.

5.1 Mt 148:n kartoitus parannustöiden jälkeen

Liikenneviraston tilaamassa Mt 148:n perusparannushankkeessa parannettiin Tuusulasta Keravan kautta Sipooseen johtavaa maantietä rakentamalla liittymiin lisäkaistoja sekä kevyen liikenteen alikulkuja. Työ toteutettiin vuosina 2015–2017. Valmistumisen jälkeen oli parannuksista seuranneet muutokset päivitettävä myös Keravan pohjakarttaan. Osa materiaalista saatiin työn toteuttaneelta Destialta, mutta aineisto oli suurelta osin vajaata ja esimerkiksi tien reunat puuttuivat kokonaan. Kartoitus päätettiin alueen laajuuden ja kopterin testauksen vuoksi toteuttaa kopterilla ja tehdä puuttuvien osien kartoitustyö georeferoitujen ortokuvien pohjalta.

Kartoitettavan alueen laajuus oli noin 42 ha, ja se käsitti Mt 148:n alueen lähes koko Keravan alueelta sekä Mt 148:lta pohjoiseen lähtevän Alikeravantien. Alueen laajuuden vuoksi oli selvää, että kohde pitää kuvata usealla lennolla. Ensimmäisessä vaiheessa kuvattiin alueen itäosa Alikeravantieltä tielle 140 kolmella lennolla, toisessa vaiheessa alueen länsiosa Alikeravantieltä länteen Saviontielle kahdella lennolla ja kolmannessa vaiheessa kuvattiin pohjoiseen suuntautuva Alikeravantie kahdella lennolla. Aikaa yhden osan lentämiseen kului 1–2 tuntia, ja lennot jakautuivat kolmelle päivälle



Kuva 18. Mt148:n kartoitukseen otetut ortokuvat yhdistettyinä opaskartan päälle

Koska kyseessä oli laaja alue, laskettiin kuvamateriaalista D2M-ohjelmistolla ainoastaan 2D-tuotteista ortokuvat ja DTM-pintamalli. Poikkeuksena alueen itäosasta tuotettiin testauksen vuoksi myös LAS-pistepilvi ja slpk-muotoinen värjätty MESH-malli. Ortokuvat laskettiin yhdistämällä samana päivänä tehtyjen lentojen kuvat yhteen projektiin. Näin haluttiin välttää monen ortokuvan yhtäaikainen avaaminen digitointivaiheessa ja samalla esimerkiksi valaistusolosuhteiden muutosten aiheuttamat vaikeudet kuvien yhdistämisessä. (Teittinen 2017: 25, 31; Lucieer ym. 2014: 111–112.)

Itä- ja länsiosan kuvien signalointi suoritettiin ainoastaan tiemerkinnoista. Tämä menetelmä koettiin kuitenkin hitaaksi, koska ortokuva jouduttiin ensin laskemaan ilman kontrollipisteitä, sopivien tiemerkinnojen valitsemiseksi. Tämän jälkeen laskenta suoritettiin uudestaan, kun ilmakuvulta valitut signaloituspisteet oli mitattu kontrollipisteiksi. Lisäksi virheiden mahdollisuus tiemerkinnoja mitattaessa lisääntyy huomattavasti verrattuna selkeisiin maalimerkkeihin tai vastaaviin. Länsiosan laskenta jouduttiin suorittamaan uudestaan, koska georeferoinnin yhteydessä oli osoitettu kahdesta kuvasta väärää keskilinjan tiemaalausta. Tämän seurauksena osa kuvista asemoitui väärin, eikä niitä ollut mahdol-

lista käyttää digitointiin. Sibeliuksen tien signaloinnissa käytettiin maalimerkkejä tiemerkintöjen lisäksi, mutta tällä kertaa mitatut signaalipisteet kuvattiin älypuhelimella vastaavien virheiden välttämiseksi.

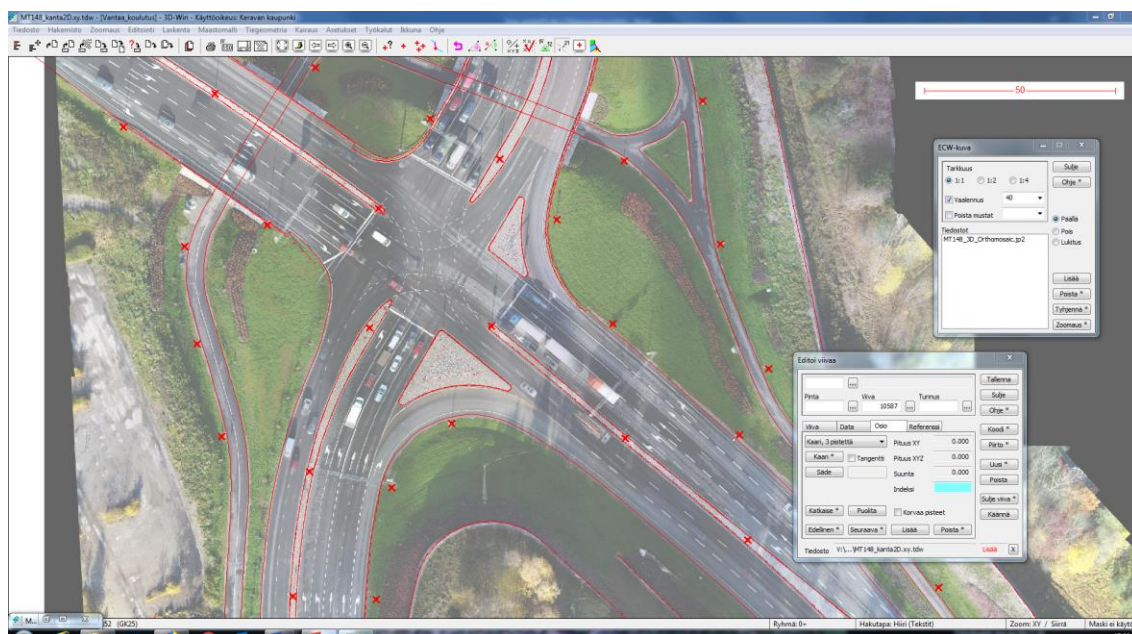


Kuva 19. Kuvassa älypuhelimella otettu kuva, johon on lisätty puhelimen kuvankäsittelyominaisuudella oranssi nuoli osoittamaan mitattua signaalointipistettä.

D2M:lla tuotetut ortokuvat ovat .tif-muotoisia ja tiedostokooltaan noin 4–5 GB:n suuruisia. Kuvien käsittelyn helpottamiseksi ne muunnettiin ArcMap-ohjelmiston sovelluksessa (raster2raster) jp2000-muotoon, joka vastaa yleisesti ortokuvissa käytettyä pakattua ECW-muotoa. Tällä muunnoksella saatiin kuvien koko pienennettyä 1–2 gigaan. Kuvien pakkaus on välttämätöntä, jotta niiden käyttäminen digitoinnin pohjana on sujuvaa.

Mt 148:n tielinjojen ja rakenteiden digitointi suoritettiin 3D-win-ohjelmistolla, jota käytetään Keravalla mittausdatan käsittelyyn ja muokkaamiseen ja jolla olen itse kokenut digitoinnin ja mittauksen muokkauksen olevan sujuvampaa kuin esimerkiksi ArcMap-ohjel-

mistossa, mikäli tarkoituksena on ainoastaan luoda viivoja tai pistemäisiä vektorimuotoja. Tämä saattaa olla tosin tottumuskysymys, ja viivojen luonti ilmakuvan pohjalta onnistuu aivan yhtä hyvin lähes millä tahansa paikkatieto-ohjelmistolla. Digitoinnin jälkeen tiedostosta kirjoitetaan 3D-win-formaattimuuntimella .hkr-muoto, minkä jälkeen se on valmis siirrettäväksi kaupungin paikkatietokantaan.



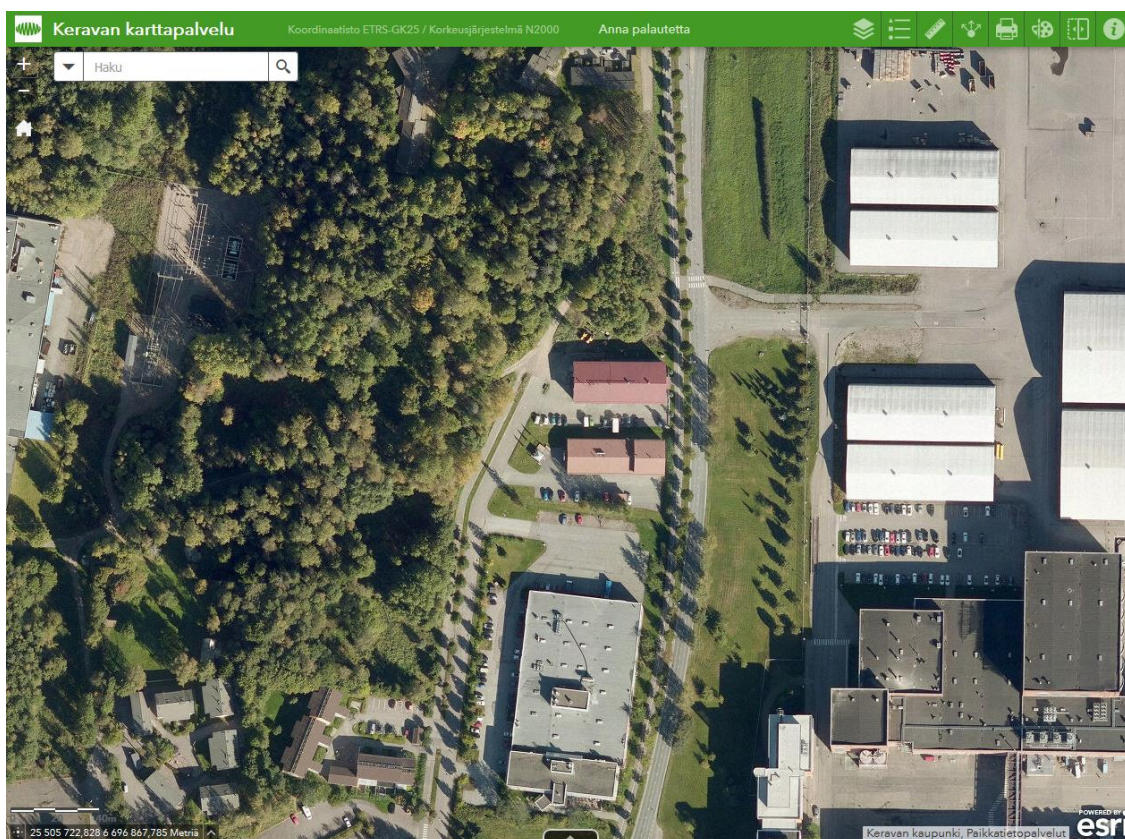
Kuva 20. Kuvassa Mt148:n digitointia 3D-win-ohjelmistolla, digitoidut viivat ja pisteet korostettu punaisella

Haasteita tiereunojen ja muiden rakenteiden digitoimisessa aiheuttivat varjot, jotka olivat kuvausajankohdan vuoksi voimakkaita. Kuvaus suoritettiin syyskuun loppupuolella aurinkoisella säällä. Matalla paistanut aurinko muodosti voimakkaita varjoja pohjois-eteläsuunnassa, mikä vaikeutti varjoihin jääneiden kohtien digitointia huonon erottuvuuden vuoksi. Ongelmia reunojen havaitsemisessa voivat aiheuttaa esimerkiksi hiekka ja kasvillisuus. Suurien alueiden digitointi ilmakuvasta saattaa olla myös pidemmän päälle hie-man puuduttavaa.

5.2 Posliinitehtaankadun maastomalli infrasuunnittelun tueksi

Yleisimpiä työtehtäviä Keravan mittauspuolella ovat maastomallien mittaamiset infrasuunnittelun pohjaksi. Maastomallin tulee yleensä sisältää tienreunat ja reunatuet, pintapisteet teiden keskilinjoilta, merkittävät puut ja rakenteet sekä kaivonkansien korot ja

tarvittaessa kaivojen juoksukorkeudet ja putkikoot. Työt suoritetaan yleensä robottitaky-metrilla ja RTK-mittauksena. Posliinitehtaankadun (kuva 21) maastomallin mittauksessa testattiin kopterilla tuotetun aineiston sopivuutta maastomallin tueksi.

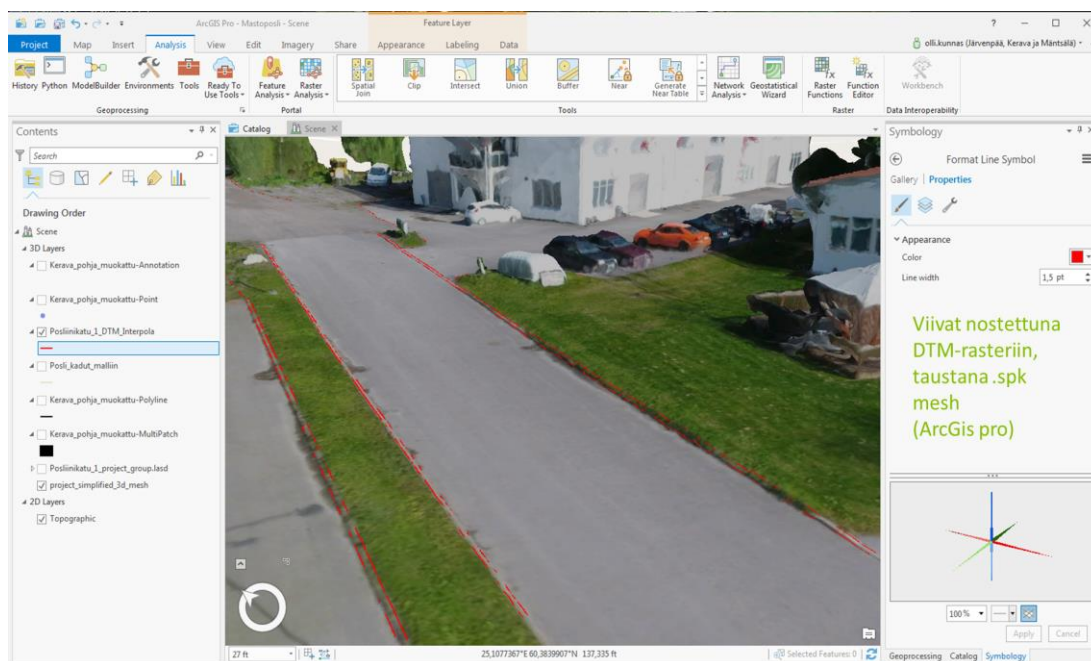


Kuva 21. Keravan kaupungin vuoden 2016 ilmakehu Posliinitehtaankadun alueesta

Kohde lennettiin kahteen kertaan eri suunnista viistokuvattuna 70°:n kamerakulmalla. Viistokuvauksen tarkoituksena oli tuottaa kohteesta myös LAS-muotoinen pistepilviaineisto suunnittelijan käyttöön sekä testata kuvauskulman vaikutusta ortokuvien tuottamiseen. Viistokuvauksella testattiin myös reunakivien ylä- ja alareunan koron taltiointia pistepilveen. Kuva-aineiston georeferointia varten alueelle maalattiin signaalipisteiksi kahdeksan maalirastia, joiden koordinaatit mitattiin RTK-GNSS-mittauksella. Alueen kuvaamiseen kahteen kertaan kului aikaa noin 40 minuuttia.

Maastomallin teko aloitettiin samalla tavalla kuin Mt148:n yhteydessä, eli tuottamalla ortokuva alueesta ja digitoimalla tienreunat ja vastaavat ilmiöt ortokuvan päälle. D2M-ohjelmalla laskettiin alueesta DTM-rasteri eli digitaalinen pintamalli ortokuvan oikaisemiseksi. Tämän jälkeen ortokuvan päälle digitoidut vektorikohteet nostettiin ArcGis Pron

interpolate shape -toiminnolla DTM-pintamalliin. Toiminto luo korkeustiedon vektoritiedolle DTM-pintamallirasterista, eli niin sanotusti nostaa viivat nollakorkeudesta pintamallin korkeusmalliin (kuva 22). Tarvetta pistepilven luokitteluun ei tässä tapauksessa ollut, koska kaikki digitoidut viivat sijaitsivat maan pinnalla kohdilla, missä ei ollut häiriöitä aiheuttavaa peitekasvillisuutta tai muita rakenteita.



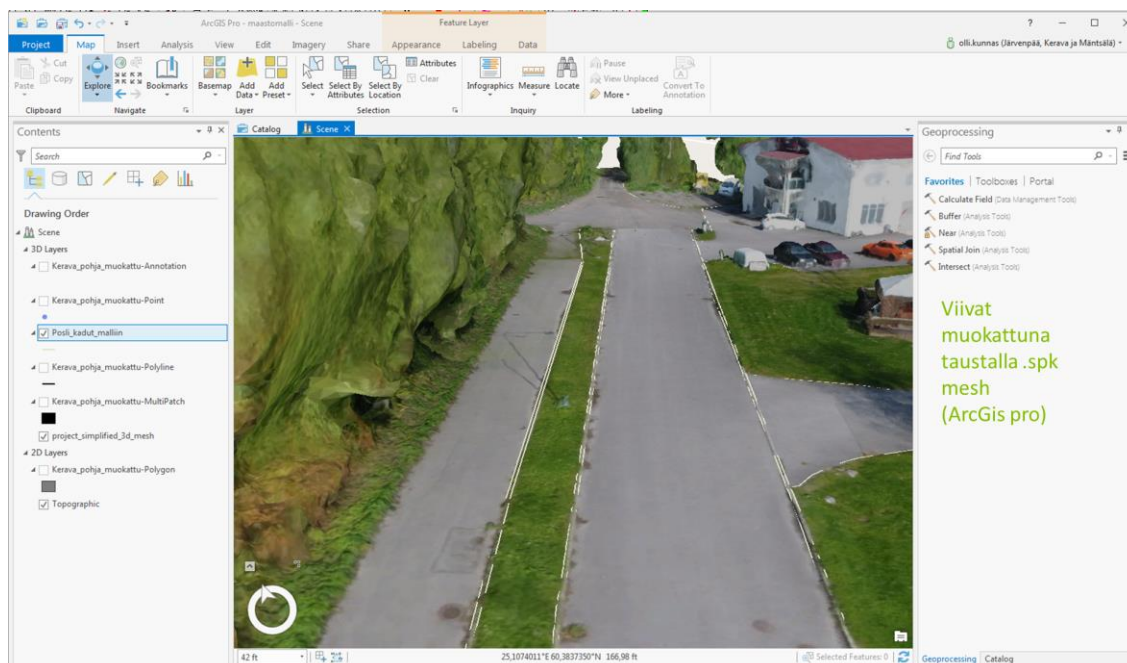
Kuva 22. Viivat nostettuna DTM-pintamallirasteriin.

Ongelmaksi viivojen nostossa muodostui DTM-pintamallirasterin pintamallin epätasaisuus. Kuten kuvasta 22 voi nähdä, nostetut viivat ovat hyvin epätasaisia varsinkin reunakivien alareunan ja asfaltin pinnan taiteessa. Pintamallirasterissa pieniin taitekohtiin muodostuu luiska johtuen kuvasta tehdyn pistepilven harvuudesta, mikä taas johtaa epätarkkuuteen taitekohdissa, ilmiötä aiheuttaa osittain myös laskenta-algoritmien korkeusarvoa tasoittavasta ominaisuudesta (Teittinen 2017: 24–26). Tästä seuraa se, että interpoloidessa viivat pilkkoutuvat lyhyiksi osiksi pintamallin epätasaisuuden seurauksena ja niistä muodostuu kuvassa näkyvä epätasaisia viivoja, joiden korkeustarkkuus vaihtelee sen mukaan, mihin kohtaan taitekohtaan syntynyttä luiskaa ne osuvat.

Pintamallirasterin epätasaisuuden ja taitekohtien epätarkkuuden aiheuttama ongelma koetettiin ratkaista harventamalla pistepilven tiheyttä siten, että vain joka sadas piste jä-

tettiin jäljelle alkuperäisestä pistepilvestä. Tämän jälkeen pisteaineistosta laskettiin kolmioverkko pintamalliksi DTM-pintamallirasterin sijaan. Tämä vähensi pintamallin epätaisaisuutta. Ongelmaksi pistepilven harventamisen jälkeen jäi vielä taitekohtien aiheuttama luiskaantumisongelma, sillä pisteiden vähenemisestä johtuen korkeustarkkuus oli taitekohdissa aikaisempaa huonompi. Tasaisissa kohdissa sijaitsevilla viivoilla, kuten pyörätien reunoilla, korkeustarkkuus taas korjautui huomattavasti.

Reunakivien ja asfaltin taitekohtien ongelmaa koitettiin korjata vielä siirtämällä taitekohtaan piirrettyä viivaa 20 cm ajoradan keskustaa kohti ja nostamalla tämän jälkeen viivat uudestaan kolmioituun pintamalliin. Menetelmällä pyrittiin hakemaan viivalle korkeustieto kohdasta, jossa pistepilvestä johdettu pintakorkeus on validi ilman taitekohtien aiheuttamia luiskia. Noston jälkeen viivat siirrettiin takaisin paikoilleen samalla *kopioi viiva* -työkalulla kuin ne oli alun perin siirretty. Näin varmistettiin, että viivat palautuvat varmasti alkuperäisille paikoilleen. Viivojen editointi suoritettiin 3D-win-ohjelmistossa.



Kuva 23. Viivat nostettuna kolmioituun TIN-malliin

Kuvasta 23 näkyy, että viivojen muokkauksen jälkeen ne asettuvat paremmin pintamalliin ja ovat suurempia kuin aiemmin. Useista muokkauksista johtuen päätettiin kuitenkin mitata tarkkeet osasta viivoja. Alueen maastomallia varten oli mitattava pintapisteitä myös metsän alueelta ja katveessa olevalta kevyen liikenteen väylältä, joten tarkkeiden

mittaaminen ei tuottanut paljoa lisätyötä. Samoin nurmialueilta oli mitattava pintapisteitä, koska kuvasta tehdyn pistepilven korkeustieto muodostuu nurmikon pinnan korkeudesta, ei maanpinnan korkeudesta. Riippuen nurmikon pituudesta saattaa eroa syntyä jopa 8 cm maanpintaan. Tarkemmittaus suoritettiin takymetrillä, jonka asemointipisteinä käytettiin ilmakuvaa varten mitattuja signalointipisteitä. Reunakivien taitekohtien tarkemmittauksessa havaittiin, että XY-tarkkuus oli riittävä, noin 1–2 cm:n eromitta, mutta Z-tarkkuudessa oli suurempia eroja, jotka vaihtelivat 3–5 cm:n välillä. Tasaisilla kohdilla, kuten asfaltin pinnalla, korkeuserot pysyivät 1–2 cm:n välillä mutta taitekohdissa ja nurmikkoisilla alueilla erot kasvoivat. Tästä johtuen reunakivien alareunojen korkeus mitattiin takymetrillä uudestaan.

Yhteenvetona voi todeta, että kopterilla tuotettu aineisto mahdollistaa osan maastomallin teosta pistepilven ja ortokuvan pohjalta, mutta esimerkiksi reunakivien taitekohdat, nurmikkoiset ja muut peitteiset alueet vaativat perinteisiä mittausmenetelmiä tai maan pinnalta tapahtuvaa laserkeilausta.

5.3 Viertolan alueen 3D-mallinnus kaavoituksen suunnitteluun

Viertolan alue sijaitsee Keravan keskustassa ja alueella olevalle pienelle puistoalueelle suunnitellaan rakentamista. Alueella testattiin 3D-mallin tekoa kopterilla suunnittelun tueksi. Kohteen mallinnuslennot suoritettiin viistokuvauksella 50°:n asteen kulmalla neljästä suunnasta ja kuvien peitoksi asetettiin 50 % (kuva 24). Hiukan pienemmällä kuvien päällekkäisyydellä pyrittiin rajaamaan kerätyn datan määrää, joka tulisi nousemaan neljän kuvauslennon vuoksi joka tapauksessa suureksi.

Lennot suoritettiin yhden päivän aikana ja niihin kului aikaa noin 3 tuntia. Kuvia otettiin 329 kappaletta. Ennen kuvausta alueelle käytiin tekemässä maalimerkkeinä 10 signalointipistettä. Lennätyksen ohjaus tapahtui alueen vieressä sijaitsevan marketin katto-parkkipaikalta, josta kopterin seuraaminen koko lennon ajan oli mahdollista. Kuvattu alue on suhteellisen tiiviisti rakennettu, ja alueella oli jonkin verran puustoa, minkä vuoksi maanpinnalta tapahtuva lennätys olisi näköyhteyden säilymisen kannalta ollut haasteellista.

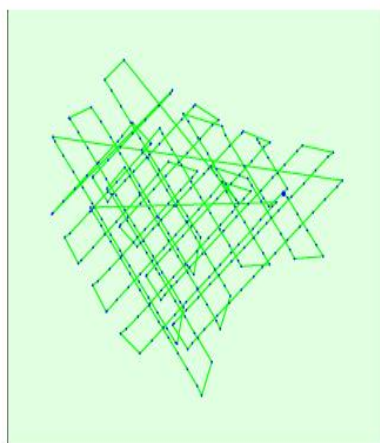
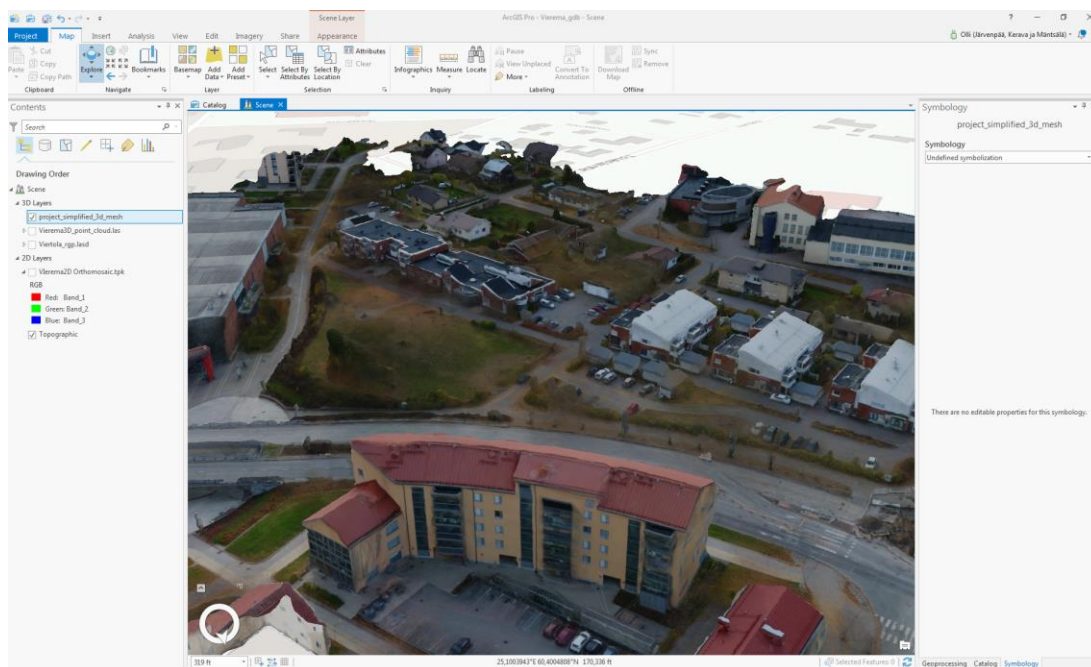


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Kuva 24. Viertolan alueen viistokuvauksen lentoreitit

D2M-ohjelmistolla alueesta muodostettiin LAS-pistepilvi, slp-MESH, AutoCad dxf -tiedosto sekä OBJ-tiedosto. Aineisto laskettiin tiheimmällä mahdollisella asetuksella (7x7 match) sekä korkeimmalla D2M:n mahdollistamalla resoluutiolla (*high resolution*). Lisäksi alueesta muodostettiin ortokuva, jonka laatu oli kuitenkin heikko johtuen 50 % / 50 % peitosta. Pieni peittoprosentti vaikutti mahdollisesti myös viistokuvauksen tuloksiin ja sen vaikutus näkyy MESH-mallissa (kuva 25) osittain vääristyneinä tekstuurina. Tähän saattoi vaikuttaa myös MESH:in laskenta korkealla resoluutiolla (*high resolution*), joka voi aiheuttaa epätasaisuutta muodostetuilla pinnoilla (Unger 2014: 603). Yllämainittujen asetusten seurauksena aineiston laskenta vei aikaa lähes 15 tuntia, ja se jouduttiin suorittamaan kolmeen kertaan ohjelmiston kaaduttua kahdella ensimmäisellä yrityksellä.



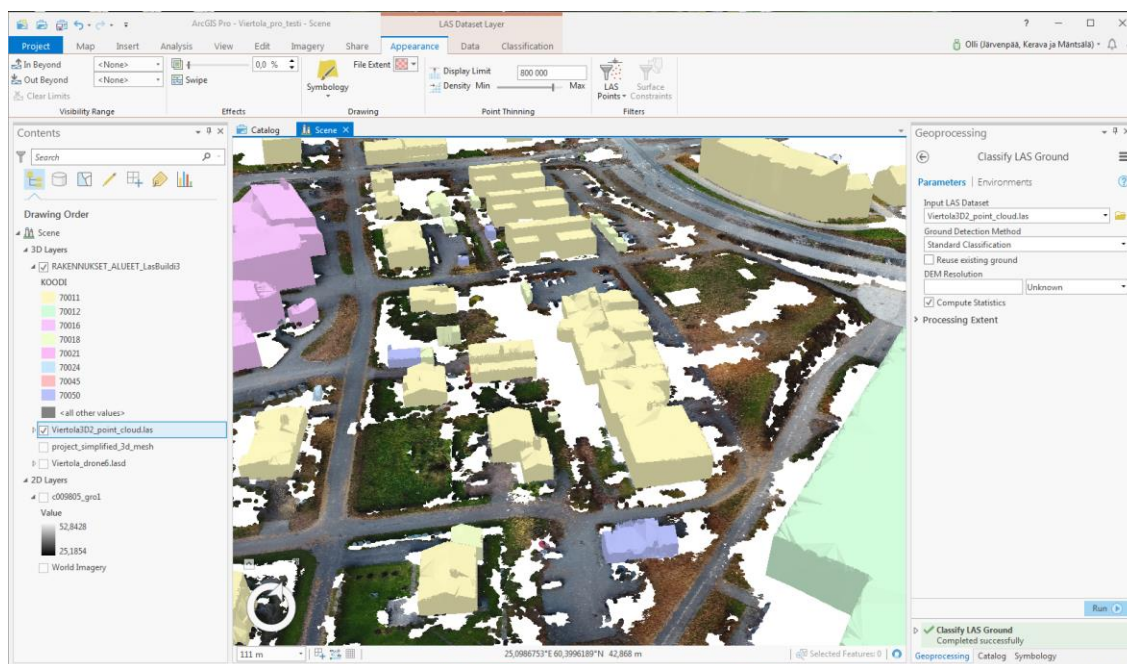
Kuva 25. D2M-tuotettu MESH.slpk avattuna ArcGis Pro -ohjelmistossa.

3D-mallin testaus kaavoituksen suunnittelun tueksi on tällä hetkellä vielä kesken johtuen eri ohjelmistojen ja tiedostomuotojen yhteensopivuudessa ilmenneistä ongelmista. 3D-mallinnuksen aikana ei myöskään ollut mahdollisuuksia saada käyttöön IFC- tai BIM-rakennustietomalleja, joita olisi voinut yrittää lisätä 3D-malliin.

Tällä hetkellä sopivimmaksi 3D-mallien tiedostomuodoksi on päätyvässä OBJ, joka mahdollistaa mallin objektien kuten rakennusten ja puuston muokkaamisen CityEngine-ohjelmassa. Keravalla kaavoituksen puolella käytössä on FiksuCad, joka on lähinnä tarkoitettu 2D-muotoisten kaavakarttojen tekoon. Tulevaisuudessa tarkoituksena on siirtyä enemmän 3D-malleja tuottavien ohjelmistojen käyttöön, kuten CityEngine. Keravalla jatketaan myös vuonna 2017 aloitettua VR-lasien (*virtual reality*) testausta mallien sisällä. Aiheesta on tulossa myös insinööriä, joka käsittelee VR-lasien testausta kaavoituksessa. (Ylimäki 2018).

Viertolan alueesta muodostettu pistepilviaineisto mahdollisti kuitenkin ArcGis Pron pistepilven editointiin tarkoitettujen työkalujen testaamisen. ArcGis Pro on ESRI:n uusien versio ArcGIS-ohjelmistoperheeseen, ja se on vasta testivaiheessa Keravalla. Päätin tes-

tata ohjelmistolla pistepilven luokittelua ja erilaisten kolmiulotteisten vektorimuotojen tekoa pursottamalla 2D-kantakartan alueita pistepilveen (kuva 26). Työ on vielä testivaiheessa, mutta tulokset ovat lupaavia.



Kuva 26. Rakennukset ”pursotettuina” kopterilla tuotettuun pistepilviaineistoon ArcGis Pron *create multipatch buildings*-työkalulla

6 Toimintaprosessien kuvaus

Työn yhtenä lähtökohtana oli avata RPAS-toiminnalla tuotetun datan käsittelyn ja eteenpäin toimittamisen työprosesseja kuntaorganisaation sisällä. Edellä esitellyissä esimerkkikohteissa data on toimitettu kolmelle eri tilaajataholle: paikkatietopalveluihin, tekniikan suunniteluun ja kaavoitukseen (kaupunkikehityspalvelut). Tässä luvussa visualisoidaan prosessit datan tuottamisen eri vaiheissa. Visualisoitujen prosessien avulla pyritään löytämään prosessin kannalta merkittävimmät kohdat RPAS-toiminnan toteutuksessa. Prosessit esitetään kahtena mallina. Ensimmäinen malli sisältää työnkulun eri vaiheet mitauspyynnöstä datan käsittelyyn ja lopputuotteeseen. Palveluprosessin mallissa taas pyritään luomaan visualisoitu malli (*blueprint*) datan toimittamisesta organisaation sisällä *palveluprosessina* (Ainoa 2017). Mallina on käytetty palvelumuotoilun (*Service Design*)

periaatteita siten, että kuluttajan/asiakkaan rooliin asetetaan toimijat, joille dataa toimitetaan. Tässä tapauksessa kuluttajana/asiakkaana ovat Keravan kaupungin paikkatietopalvelut, kaupunkitekniikan suunnittelu ja kaavoitus (kaupunkikehityspalvelut).

Palvelumuotoilussa palvelu määritellään suhteessa konkreettisiin tuotteisiin, tässä tapauksessa mittausdataan. Juha Ainoan (2017) mukaan palvelumuotoilu voidaan määrittellä mm seuraavalla tavalla:

Palvelumuotoilu tarkoittaa palvelujen käyttäjälähtöistä innovointia, kehittämistä ja suunnittelua.

Kyse on ajattelutavasta, jossa tuotetta tai palvelua, kehitetään jatkuvasti: opitaan, kehitetään, kokeillaan, muokataan ja taas opitaan.

Palvelumuotoilun keskeisenä tavoitteena on palvelukokemuksen (Service Experience) käyttäjälähtöinen suunnittelu siten, että palvelu vastaa

1. käyttäjien tarpeita

2. palvelun tarjoajan (liiketoiminnallisia) tavoitteita.

Palvelumuotoilu on käsitteenä laaja, ja sitä voidaan soveltaa lähes mihin tahansa tuotteen tai palvelun kontaktipintojen analysointiin ja kehittämiseen. Mielestäni ylläolevat periaatteet sopivat erinomaisesti myös kuntaorganisaation sisäisten toimintojen (palveluiden) kuvaamiseen. Palveluprosessin kuvaamisella pyrin antamaan lähtökohtia palvelun ongelmakohtien löytämiseen ja siten palveluiden parantamiseen. Työssä esitettyjä prosesseja ei ole tarkoitettu jäykäksi toimintamalliksi vaan lähtökohdaksi, jonka pohjalta RPAS-toimintaa ja siihen liittyvää palvelua voidaan tehostaa ja parantaa.

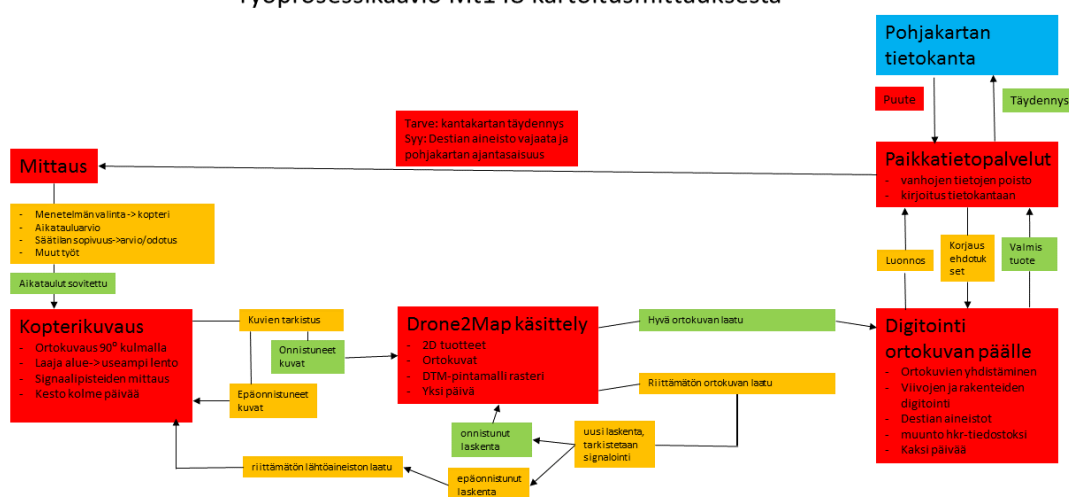
6.1 Työ- ja palveluprosessit Keravalla

6.1.1 Kantakartan täydennys Mt148

Kantakartan täydentämisen työprosessikaaviota (kuva 27) tarkastelemalla voidaan päätellä, että tärkein vaihe prosessissa on kopterikuvaus. Tämä vaihe määrittää koko prosessin onnistumisen. Ilman kunnollista lähtöaineistoa ei prosessin myöhempiä vaiheita voida toteuttaa, kun taas lähtöaineiston ollessa kunnossa ovat sitä seuraavat vaiheet helpompia toteuttaa onnistuneesti. Vaikka kopterikuvauksessa tuotettu lähtöaineisto määrittää työprosessin lopputuotteen laadun, merkittävässä roolissa työprosessissa ovat myös aineiston käsittely D2M-ohjelmistolla ja digitoinnissa. Näissä kohdissa korostuu ohjelmistojen käyttäjän toimintojen laatu, eli osaaminen. Mitä selkeämpi käsitys lopputuotteen muodosta tekijällä on ja mitä paremmin käyttäjä hallitsee ohjelmistojen ominaisuudet, sitä parempi lopputulos saadaan aikaiseksi.

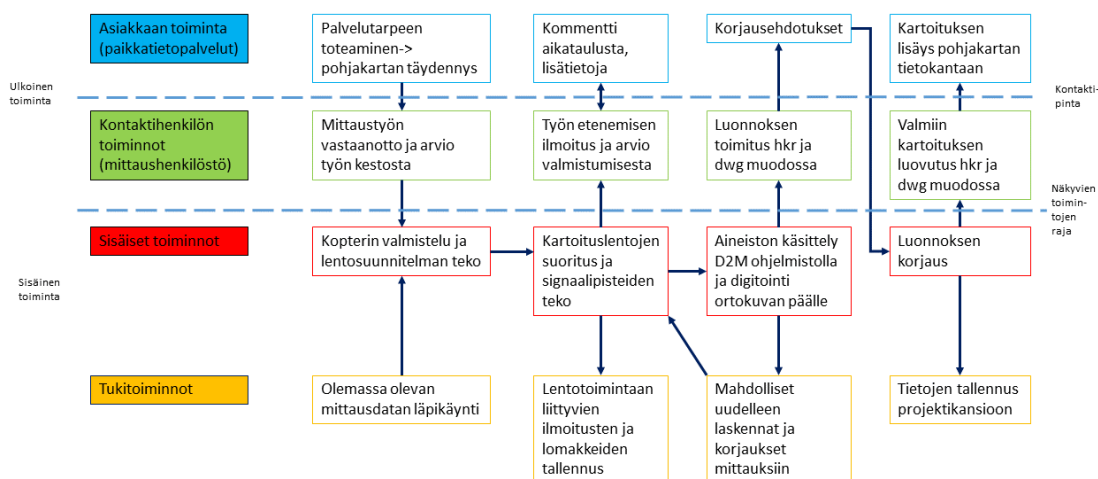
Palveluprosessikaaviossa (kuva 28) kantakartan täydennyksen yhteydessä RPAS-toiminta keskittyy hyvin pitkälle sisäisiin toimintoihin, itse lentoon ja aineiston käsittelyyn. Kontaktipinnalla tapahtuu tietojen vaihtoa sisäisten toimintojen ja tilaajan välillä prosessin jokaisessa vaiheessa.

Työprosessikaavio Mt148 kartoitusmittauksesta



Kuva 27. Työprosessikaavio Mt148:n kartoitusmittauksesta

Mt148 täydennyskartoitus palveluprosessi



Kuva 28. Palveluprosessikaavio Mt148: palveluprosessista

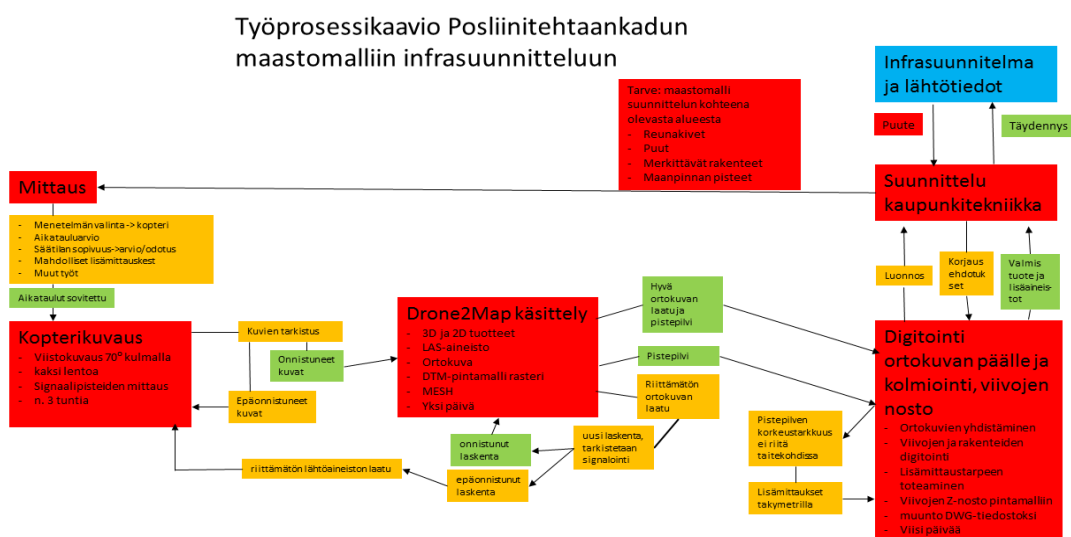
6.1.2 Maastomalli infrasuunnitteluun

Myös maastomallin työprosessikaavioissa (kuva 29) korostuu kopterilennon onnistumisen merkitys koko lopputuloksen kannalta. Se ei ole kokonaisuudessaan kuitenkaan yhtä merkittävä kuin kantakartan täydennyksessä, jossa ortokuvan onnistuminen määrittää koko kartoituksen onnistumisen. Onnistunut ortokuva kuitenkin mahdollistaa maastomallin vaatimien rakenteiden kuten tienreunojen digitoinnin ortokuvan päälle. Kopterilennätyksen merkitystä vähentää kopterilla tuotetun pistepilviaineiston korkeustarkkuuden epämääräisyys taitekohdissa, kuten reunakiven ja asfaltin pinnan taitekohdassa. Maastomalleihin mitattavat kohteet vaativat tarkan korkeusarvon, ja esimerkiksi maanpinnan koron mittaaminen kasvillisuuden peittämiltä alueilta ei kopterilla tuotetusta pistepilvestä ole mahdollista. Maastomallia voi harvemmin tuottaa suoraan kopteriaineistosta, ja aluetta joudutaan lähes aina kartoittamaan myös takymetrillä. Tämä toisaalta mahdollistaa tarkkeiden mittaamisen kopterilla tuotetusta aineistosta, mikä on hyvin tärkeää kopterin tuottaman aineiston korkeustarkkuuden jatkuvassa arvioinnissa.

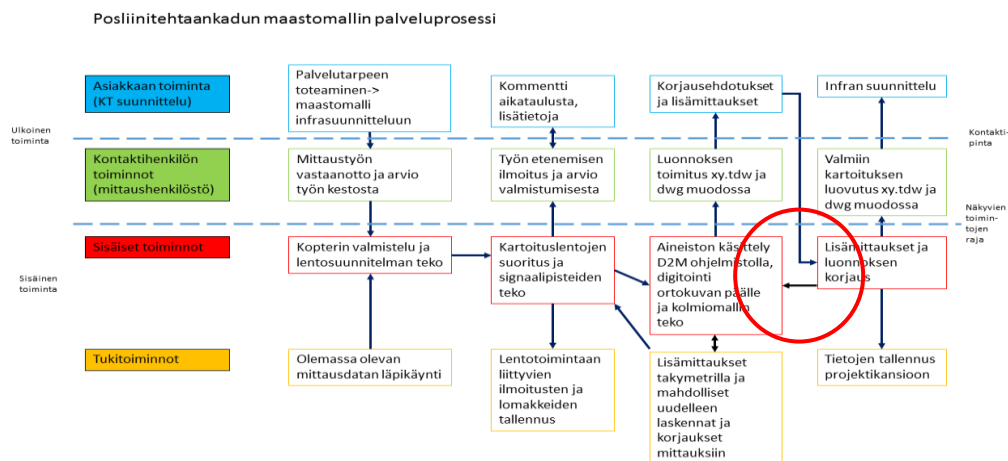
Kopterilla tuotettu aineisto voi ilmakuviin ja pistepilviaineistojen tuoman visuaalisen lisätiedon myötä toimia erittäin hyvänä tukena infrasuunnittelussa. Työprosessissa datan käsittelyvaiheessa korostuu myös aineiston käsittelijän kyky erottaa ja tuottaa kopterilla

tuotetusta aineistosta käyttökelpoinen pistetieto. Keskeistä on myös taito lisätä korkeus-tieto kopterilla tuotettujen korkeusmallirastereiden avulla ortokuvan pohjalta digitoituihin 2D-vektoriaineistoihin (esim. tien reunat), silloin kun pintamallirasterin tarkkuus sen mahdollistaa.

Palveluprosessi (kuva 30) on maastomallin teon yhteydessä hyvin pitkälle sama kuin kantakartan täydennyksessä. Pieni ero on kuitenkin korjausehdotusten ja lisämittausten kohdalla lisääntynyt palvelutilanteiden määrä (punainen ympyrä).



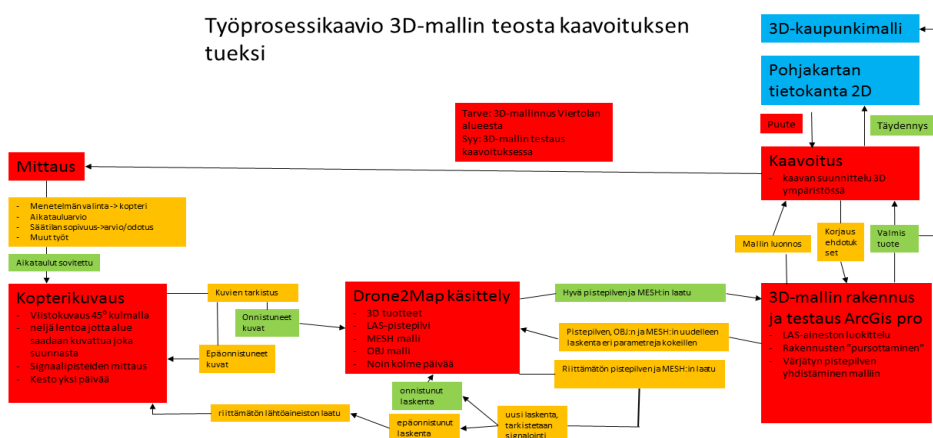
Kuva 29. Työprosessikaavio Posliinitehtaankadun maastomallin mittauksesta



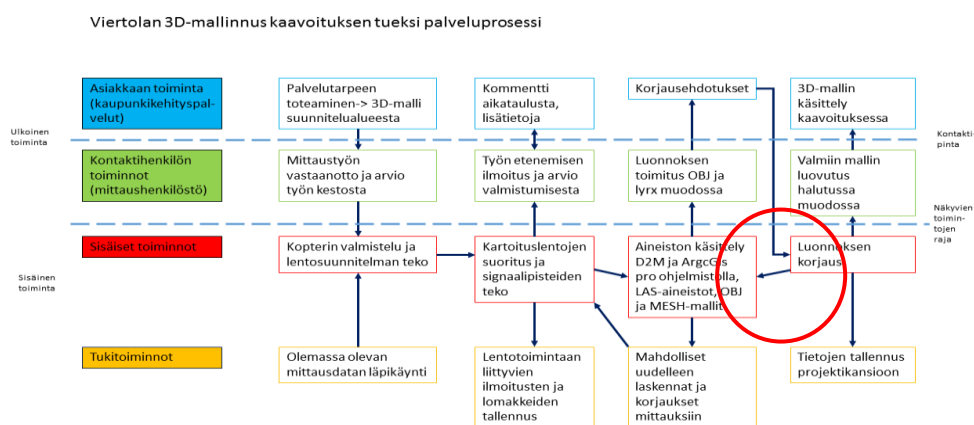
Kuva 30. Palveluprosessi maastomallin mittauksesta

6.1.3 Viertolan alueen 3D-mallinnus kaavoituksen tueksi

3D-mallinnuksen työprosessissa (kuva 31) korostuu jälleen onnistuneen kuvauslennon vaikutus lopputuotteen laatuun. Kohde on lennettävä neljästä suunnasta tai sitten POI-menetelmällä (*point of interest*) riippuen siitä, mallinnetaanko isompaa aluetta vai yksittäistä kohdetta. Lisäksi työprosessissa korostuu aineiston jälkikäsitteilyn merkitys, joka on huomattavasti vaativampaa kuin esimerkiksi kantan kartan täydennyksessä. Palveluprosessi (kuva 32) on rakenteeltaan samanlainen kuin aiemmissa esimerkeissä, mutta prosessissa korostuu palvelutilanteiden lisääntynyt määrä lopputuotteen luonnosteluvaiheessa (punainen ympyrä).



Kuva 31. Työprosessikaavio Viertolan 3D-mallin valmistamisesta



Kuva 32. Palveluprosessikaavio Viertolan 3D-mallin valmistamisesta

6.2 Analyysi työprosesseista

Työprosessikaavioiden perusteella parhaan mahdollisen lopputuotteen aikaan saamiseksi tulisi työprosessissa painottaa kopterikuvauksen onnistumista. Tämä voidaan toteuttaa priorisoimalla kopterilentoja organisaation työjärjestyksessä. Esimerkiksi yksi kopterikuvaukseen onnistumiseen voimakkaasti vaikuttavista tekijöistä on sää, ja priorisoimalla kopterilennot työjärjestyksessä korkealle siten, että lennot voidaan suorittaa aina hyvän lentosään, pilvinen tyyni sää, ja kuvauksen kannalta optimaalisissa olosuhteissa, voidaan vaikuttaa kopterilla tuotetun lähtöaineiston laatuun ja sitä kautta lopputuotteen onnistumiseen. Vaikka tarkoituksena olisi tuottaa ainoastaan ortokuva, kannattaa tilanteessa miettiä viistokuvauksen mahdollisuutta, varsinkin rakennetulla alueella, koska onnistuneen ja hyvällä säällä suoritettun kuvauslennon materiaalia on lisäksi myöhemmin helppo käyttää pistepilviaineistona.

Tärkeää on varmistaa prosessin myöhemmissä vaiheissa tapahtuvan aineiston käsittelyn laatu. Tämä voidaan tehdä varmistamalla aineiston käsittelijän osaaminen kopteridatan käsittelyssä käytettävien ohjelmistojen käytössä. Prosessin toimivuutta ja tehokkuutta voidaan lisätä varaamalla organisaation sisällä tarpeeksi aikaa ohjelmistojen hallinnan opetteluun ja taitojen ylläpitämiseen testaamalla ja kouluttamalla. Myös selkeät lopputuotteen muotovaatimuksia koskevat määrittelyt edesauttavat työprosessin onnistumista.

6.3 Analyysi palveluprosesseista

RPAS-toiminnan palveluprosessi on hyvin samankaltainen kuin muutkin maastomittauksessa suoritettavat mittauksiin liittyvät palvelut. Asiakas, tässä tapauksessa kunnan sisäinen osasto, esittää tarpeen mittausdatalle, jonka valmistus suoritetaan sisäisinä toimintoina. Kontaktipinnalla tapahtuva mittauksen tilaus toimitetaan paikkatietopalveluihin, josta se siirtyy maastomittaukseen. Vaihtoehtoisesti mittauspyyntö esitetään suoraan kartoittajalle, mikä välillä aiheuttaa sekaannusta sisäisissä toiminnoissa sekä kontaktipinnalla tapahtuvassa yhteydenpidossa mittauksien tilaajiin. Tilaus itsessään ei välttämättä sisällä vaatimusta aineiston tuottamisesta kopterilla, vaan päätös menetelmän käyttämisestä voidaan tehdä sisäisissä toiminnoissa.

Onnistuneen RPAS-toiminnan kannalta palveluprosessissa keskeisimpiä teemoja ovat sisäisten toimintojen työjärjestyksen selkeyttäminen ja kontaktipinnalla tapahtuva yhteydenpito mittauksen tilaajaan. Sisäisissä toiminnoissa RPAS-toimintaan käytetyn ajan ja merkityksen määrittäminen sisäisten toimintojen työjärjestyksessä selkeyttää toiminnan suorittamista. Samalla voidaan parantaa palvelua ja varmistaa lopputuotteen paras mahdollinen laatu. Toinen teema, jota palveluprosessissa tulisi kehittää, on RPAS-toiminnalla saatavien monipuolisten tuotteiden selkeä esittely asiakkaalle etukäteen, ennen palvelun tilaamista. Tällä tavoin voidaan parantaa asiakaspalvelua ja varmistaa että asiakas ymmärtää RPAS-toiminnan luonteen sekä sillä saatavissa olevat tuotteet ja pystyy siten saamaan parhaan mahdollisen aineiston mittauspyynnön kohteena olevasta kohteesta.

7 Yhteenveto

RPAS-toiminnan aloittaminen kuntaorganisaatiossa on kannattavaa, mutta se vaatii organisaatiolta taloudellisia panostuksia ja ymmärryksen toiminnan laadusta, jotta toiminnasta saadaan irti paras mahdollinen tuottavuus.

RPAS-laitteiston hankinta alkaa laitteiston tarpeen toteamisesta ja hankintapäätöksen tekemisestä. Keravalla ja Järvenpäässä hankintapäätöksen syntyyn vaikutti RPAS-laitteiston tuoma mahdollisuus ilmakuvaukseen ja 3D-mallintamiseen. Täysin selkeää kuvaa kopterin tuomista mahdollisuuksista ja työprosesseista ei kuitenkaan tässä vaiheessa vielä ollut. Hankinta aloitettiin asettamalla ensisijaiset tavoitteet sille, mitä RPAS-laitteistolla halutaan tehdä. Tavoitteet olivat kantakartan täydennys ortokuvien pohjalta, oma ortokuvatuoanto ja maastomallien teko sekä niiden täydennys pistepilviaineistoista. Lisäksi asetettiin toissijaiset tavoitteet, jotka olivat 3D-kaupunkimallin täydentäminen, koneohjausmallien lähtömateriaalien tuotanto sekä kiinteistöjen ja tonttialueiden videokuvaus. Selkeiden tavoitteiden asettaminen on hankinnan kannalta erittäin tärkeää ja suositeltavaa, sillä se helpottaa laitteistojen vertailua ja siten haluttuihin tarpeisiin vastaavan laitteiston hankinta. Tavoitteiden avulla voidaan myös pohtia, millaisia resurssivaatimuksia RPAS-toiminta aiheuttaa sen käytöstä vastaavalla osastolla.

Kerava ja Järvenpää päättivät hankkia RPAS-laitteiston yhteishankintana. Hankintavaiheen alussa mukana oli myös Nurmijärven kunta, joka kuitenkin päätyi hankkimaan

RPAS-laitteiston vain omaan käyttöön. Yhteishankinnalla haluttiin alkuvaiheessa jakaa kopterin hankinnasta aiheutuvia kustannuksia, koska ensimmäisten hintatiedustelujen perusteella kuvauskopterin hankintahinta oli lähellä 30 000:ta euroa. Kahden kunnan yhteishankinta mahdollisti myös suuremman potentiaalisen henkilömäärän käytön kopterin lennättämiseen ja siten kopterin tehokkaamman käyttöasteen.

Yhteishankinnassa piti ratkaista, miten hankinnan kustannukset jaetaan ja miten kopterille pakollinen vakuutus jaetaan kahden kunnan välillä. Asia ratkaistiin siten, että Keravan kaupunki hankkii kopterin ja vakuutuksen ja laskuttaa Järvenpäästä näistä aiheutuvista kustannuksista sekä kopterin käytöstä. Ratkaisun mahdollisti kopterin hankinta leasingsopimuksella, minkä seurauksena kopterin hankinnan kulut jakautuvat usealle kuulle ja ne voitiin maksaa käyttöbudjetista. Lisäksi vakuutusyhtiön vakuutus mahdollisti kopterin käytön myös Järvenpään alueella, vaikka vakuutuksen ottaja oli Keravan kaupunki.

Itse RPAS-laitteiston hankinnassa vertailuun otettiin kolme kopterimallia, joilla ominaisuuksien puolesta oli mahdollista saavuttaa hankinnassa asetetut tavoitteet. Koptereita testattiin Keravalla ja Nurmijärvellä, ja testauksen perusteella kaikki mallit täyttivät niille vaaditut laadulliset tavoitteet, tärkeimpänä kuvien laatu. Työssä aiemmin esitetyssä vertailussa tärkeimmäksi hankintakriteeriksi nousi lopulta kopterin käytön helppous sekä hinta. Hankinnassa päädyttiin lopulta edullisimpaan kopterivaihtoehtoon, joka oli myös testeissä todettu helppokäyttöisimmäksi. Käytännön työssä nämä kaksi tekijää osoittautuivat erittäin merkittäviksi teemoiksi RPAS-toimintaa aloitettaessa.

RPAS-toiminnan aloittamisessa tulee ottaa huomioon, että todennäköisesti organisaation sisällä ei ole aiempaa kokemusta kuvauskopterilla lentämisestä. Tämä seikka puoltaa helppokäyttöisen ja edullisen kopterin hankintaa. Erityisesti helppokäyttöisyys ja alhainen hinta vähentävät kynnyksiä lähteä suorittamaan kuvauslentoja. Omasta kokemuksesta voin sanoa, että muutaman tuhannen euron arvoista kopteria on huomattavasti rennompi lennättää kuin 30 000 e:n arvoista laitetta.

Erittäin tärkeää osa lentotoiminnan aloittamisessa on selvittää erilaiset lentotoimintaa rajoittavat tekijät alueella, jolla lentotoimintaa tullaan suorittamaan. Myös huolellisesti tehty ohjeistus, lentämisen harjoittelu ja selkeät rutiinit edesauttavat RPAS-toiminnan aloittamista ja helpottavat sen vakiinnuttamista osaksi mittaustoimintaa. Organisaatiossa

tulee varata aikaa lentämisen harjoitteluun ja rutiinien hiomiseen sekä ylläpitää ja päivittää ohjeistusta tasaisin väliajoin.

Työssä läpikäytyjen esimerkkikohteiden perusteella voi sanoa, että RPAS-toiminta on nykyisessä kuntaympäristössä erittäin kannattavaa. Erityisesti hyviä tuloksia saatiin kantakartan täydennyksessä, jossa kopterilla suoritettu mittaustyö nopeutti ja helpotti laajan alueen kartoitusta. Työturvallisuuden kannalta katsottuna vilkasliikenteisen kohteen kuten, Mt148, kopterilla kuvaaminen ja ortokuvan päälle digitointi on myös huomattavasti turvallisempaa kuin perinteisillä mittausvälineillä kartoittaminen. Saavutettu mittausluokka 1e:n tarkkuus on myös riittävä pohjakartan ylläpitoon. Lentoja suunnitellessa tulee ottaa huomioon, että kuvista laskettujen aineistojen tarkkuus heikkenee lentoalueen reunoilla ja lentoalue tulee suunnitella niin, että haluttu kartoituskohte jää selvästi lentoalueen sisäpuolelle.

Infrasuunnitteluun tuotettavan maastomallin yhteydessä kopterilla tuotettuja ortokuvia ja pistepilviaineistoa voidaan käyttää täydentämään perinteisillä mittausmenetelmillä tuotettua aineistoa. Posliinitehtaankadun kuva-aineistosta tuotetun pistepilviaineiston korkeustarkkuus ei vielä ollut riittävä esimerkiksi reunakivien ja asfaltin taitekohdissa, ja mitauksia jouduttiin täydentämään takymetrimittauksella. Myös peitteisten alueiden mittauksissa joudutaan luonnollisesti pitäytymään perinteisissä mittausmenetelmissä. Pistepilven käyttöä infrasuunnittelussa voisi mahdollisesti lisätä käyttämällä maanpinnalta tapahtuvaa laserkeilausta, jonka avulla ongelmallisista taitekohdista on mahdollista tuottaa korkeustarkkuudeltaan riittävää aineistoa. Tämä tosin vaatisi lisätyötä aineiston käsittelyssä ja samalla aineiston sisältämä pistemäärä saataisi kasvaa raskaaksi käsitellä.

3D-mallinnuksen tuottaminen kopterilla kuvatusta aineistosta on tämän työn valmistumisaikana vielä osittain kesken. Tähän mennessä tuotetun aineiston perusteella voidaan sanoa, että 3D-mallinnus kaupunkiympäristöstä tulee olemaan yksi RPAS-toiminnan pääasiallisista työtehtävistä (vrt. Liukkonen 2015: 12–13). Tulevaisuudessa Keravalla on tarkoitus testata ainakin rakennusten sijaintikatselmuksen täydennystä kopterilla tuotetusta pistepilviaineistosta sekä jatkaa kaavoituksen ja suunnittelun tueksi tehtävien 3D-mallien tuotantoa. Koko kaupungin 3D-mallintaminen kuvauskopterilla on rajatun lento korkeuden ja lentoajan vuoksi mahdotonta, ja 3D-kaupunkimallin rakentaminen onkin järkevämpää suorittaa lentokoneesta tai helikopterista kuvatun Lidar-aineiston pohjalta. Kopterilla on kuitenkin mahdollista päivittää 3D-kaupunkimallia sitä mukaa kuin uusia

rakennuksia tai rakenteita valmistuu, mikä on huomattavasti edullisempaa kuin kaupungin laserkeilaus ilmasta vuosittain.

Työprosessien visualisoinneista käy ilmi, että kuvauslennon onnistumisella on erittäin suuri merkitys koko prosessin ja lopputuotteen onnistumisen kannalta. Suuri merkitys on myös aineiston käsittelyyn tarkoitettujen ohjelmistojen hallinnalla. RPAS-toimintaa aloitettaessa on lentämisen harjoitteluun ja testikuvauksiin varattava riittävästi aikaa, samoin kuin ohjelmistojen eri parametrien ja toimintojen testaamiseen. Alkuvaiheessa harjoittelu ja testaaminen saattavat tuntua hitaalta ja turhauttavalta, mutta työprosessien onnistumisen kannalta sen eri osien hallitsemiseen panostaminen heti alkuvaiheessa korvautuu myöhemmin toimivana, tasalaatuisena ja tehokkaana työtapana.

Palveluprosessien visualisointi tuntui aluksi hieman turhauttavalta, ja mielessä kävi ajatus, onko kaupungin sisäisessä toiminnassa edes erotettavissa ”asiakkaat ja palveluntuottajat”. Visualisointien myötä oli organisaatiossa selkeästi nähtävissä palvelun kontaktipinta ja sen eri puolilla olevat toimijat, mittausaineiston käyttäjät ja sen toimittajat. RPAS-toiminnan aloittamisella ja palvelumuotoilulla ei aluksi luulisi olevan paljoa yhteistä, mutta palvelumuotoilun keskeisen tavoitteen, *palvelukokemuksen käyttäjälähtöisen suunnittelun* asettaminen RPAS-toiminnan kehykseksi auttaa parantamaan toiminnan tuottavuutta ja samalla kehittämään toimintaa paremmaksi.

RPAS-toiminnan palveluprosessin visualisoinnin kannalta ajateltuna kontaktipinnalla tapahtuvaa palvelutarjontaa voi kehittää esittelemällä mittausdatan käyttäjille kopterilla tuotettuja erilaisia aineistoja ja työmenetelmiä. Tämän seurauksena tilaajataho ymmärtää paremmin, millaisia erilaisia tuotteita palveluntuottaja mahdollistaa. Kun asiakas tietää, millaisia eri palveluja ja tuotteita toimittaja tarjoaa, pystyy asiakas tarkentamaan mittausdataalta vaadittavia ominaisuuksia omien käyttötarpeidensa mukaan. Tämä taas auttaa palvelun tuottajaa sujuvoittamaan sisäisiä toimintojaan sekä innovoimaan, kehittämään ja suunnittelemaan omia tuotteitaan ja palveluitaan. Visualisoinnissa nähtävällä kontaktipinnalla tapahtuvaa palvelukontaktia on suositeltavaa pohtia organisaation sisällä ja pyrkiä kehittämään sitä tiedonkulun ja lopputuotteen parantamiseksi.

Lopuksi voi todeta, että RPAS-toiminnan aloittaminen kuntaympäristössä on erittäin kannattavaa. Sen tuomat mahdollisuudet mittauspuolelle ja 3D-mallinnukseen ovat monipuoliset. Riippuen kopterin mallista voi sen hankinta olla myös suhteellisen edullista ja

nykyiset kuvausmenetelmät yhdessä kehittyvien ohjelmistojen ja tietokoneiden kasvaneen laskentatehon kanssa mahdollistavat fotogrammetriaan perustuvien pistepilvien monipuolisen käytön kunnan eri toimialoilla.

Perinteisen kartoituksen lisäksi laitteisto antaa lisämahdollisuuksia kaupungin 3D-mallinnukseen, koneohjausmallien tekoon ja vaikka uusien tonttialueiden mainostamiseen ilmasta kuvatulla videolla. Kunnan kannalta on hyödyllistä valmistella oma organisaatio vastaamaan tulevaisuuden haasteisiin, ja yksi tapa tehdä tämä on aloittaa RPAS-toiminta. Toiminnan aloittamiseen kannattaa panostaa huolella, ja yksi tärkeimmistä asioista on varata tarpeeksi aikaa ja resursseja aloitusvaiheeseen. Samalla kannattaa pohdita toiminnan työ- ja palveluprosesseja, jotka auttavat paljon resurssien suuntaamisessa oikeisiin kohtiin. RPAS-toiminnan prosesseja ajattelemalla voi saada myös uusia ajatuksia olemassa olevien prosessien kehittämiseen.

Lähteet

Ainoa, Juha. 2017. Palvelumuotoilu/Service design. Esitelmä kaavoituksen erikoiskursilla Metropolia Ammattikorkeakoulu 19.1.2018

Colomina, Ismael. Molina, Pere. 2014. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, s. 79–97.

Haaraniemi, Niko. 2016. Kaupunkimalli ja mallinnus fotogrammetrisin keinoin, selvitys Kalajoen kaupungille. *Insinööriytyö*. Lapin AMK.

Hokkanen, Jeremia. 2015. UAV-kopterin pistepilven tarkkuus. *Insinööriytyö*. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Jizhou, Wang. Zongjian, Lin. Chengming, Li. 2004. Reconstruction of buildings from a single UAV image, *Proc. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress 2004*, s. 100–103.

Jokinen, Ari-Pekka. 2014. UAV-kuvaus kiviainesten kartoituksessa. *Insinööriytyö*. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Lucieer, Arko. de Jong, Steven M. Turner, Darren. 2014. Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography. *Progress in Physical Geography*, 38(1), s. 97–116.

Kumpula, Mikko. 2016. UAV-lennokin hyödynnettävyys ilmakuvakartan teossa. *Insinööriytyö*. Lapin AMK.

Liukkonen, Oskari. 2015. Kuntien paikkatiedon polku kantakartasta 3D-kaupunkimalliin. *Diplomityö*. Aalto-yliopisto. Fotogrammetria ja kaukokartoitus.

Segales, Antonio. 2016. Implementation of a low-cost UAV for photogrammetry measurement applications. *2016 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*. s.926–932

Tawast, Jaakko. 2014. UAV-kuvauksen prosessointi ja laatu. *Insinööriytyö*. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Teittinen, Hannu. 2017. Georeferoidun pistepilven tuottaminen miehittämättömällä lentoaluksella kerätystä kuva-aineistosta. *Diplomityö*. Aalto-yliopisto. Fotogrammetria ja kaukokartoitus.

Trafi 2018. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. Määräys TRAFI/90924/03.04.00.00/2016 OPS M1-32

Unger, Jakob, Reich, Martin. Heipke, Christian. 2014. UAV-based photogrammetry: monitoring of a building zone. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 40(5), s. 601.

Verkkoaineistot

EASA 2018. European aviation safety agency NPA-2017-05. Verkkoaineisto EASA. <<https://www.easa.europa.eu/document-library/notices-of-proposed-amendment/npa-2017-05>>. Luettu 15.2.2018

ESRI 2018. Drone2Map for ArcGIS Help. Verkkoaineisto. ArcGIS. <<https://doc.arcgis.com/en/drone2map/projects/manage-gcps.htm>>. Luettu 9.1.2018

Kansallinen maastotietokanta-hanke (KMTK) 2016-2017. Kuntien tuotantoprosessit - projekti. Verkkoaineisto. Paikkatietoalusta-hanke. <<http://kmtk.paikkatietoalusta.fi/projektit-ja-tyopakettit/kmtk-kuntapro>>. Luettu 15.2.2018

Lennokiturvallisuus 2018: EASA:n lennokkimääräyksen lopullinen asetusluonnos. Lennokiturvallisuus. Verkkoaineisto. <<http://www.lentsu.fi/eun-asetusluonnos-lennokkimaarayksiksi-on-valmis/>>. Luettu 9.3.2018

Miehittämättömän ilmailun käsikirja. 2017. Verkkoaineisto. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. <https://www.trafi.fi/file-bank/a/1467012201/ef4a8ea9a4533bbd6c1830fbc52f7/21956-Rpas_toimintakirja_fi_.docx> Luettu 10.5.2017.

RPAS lentotyötoiminta 2017. Verkkoaineisto. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. <https://www.trafi.fi/ilmailu/miehittamaton_ilmailu>. Luettu 20.5.2017.

Ilmailu – miehittämättömät ilma-alukset ja lennokit. 2017. Usein kysyttyä. Verkkoaineisto. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. <https://www.trafi.fi/tietopalvelut/usein_kysytty/ilmailu_-_miehittamattomat_ilma-alukset_ja_lennokit>. Luettu 14.5.2017

Keravan ja Järvenpään Miehitämättömän ilmailun käsikirja

**Keravan ja Järvenpään kaupungit
Miehitämättömän ilmailun
toimintakäsikirja**

Olli Kunnas 2018 V2

Alkusanat

Tämän ohjeellisen käsikirjamallin tarkoituksena on auttaa miehittämättömien ilma-alusten (RPAS) käyttäjiä oman toimintakäsikirjansa laadinnassa. Käsikirja sisältää ne perusasiat, jotka on yleensä tärkeää ottaa huomioon lentotoiminnassa ja kuvata sen ohjeistuksessa. Käsikirja tukee lentotoiminnan harjoittajaa myös toimintavaltion lainsäädännössä asetettujen vaatimusten täyttämiseksi. Toimintaan sovellettavat vaatimukset kannattaa selvittää paikallisilta viranomaisilta.

Sisällysluettelo

1	Johdanto	4	
2	Muutostilanne ja voimassaolevien sivujen luettelo	4	
3	Vastuuhenkilöiden ja lentotoimintahenkilöstön tehtävät ja vastuunjako	5	5
4	Turvallisuudenhallintajärjestelmän kuvaus	5	
5	OM-A: Yleistä	6	
5.1	Lentotoiminta	6	
5.2	Lentotoiminnan ohjausjärjestelmä	7	
5.3	Lento- ja työaikarajoitukset	8	
5.4	Sääolosuhteet	8	
5.5	Poikkeamista (onnettomuuksista/vaaratilanteista) ilmoittaminen	8	
5.6	Turvatoimet	8	
5.7	Lentokelpoisuus ja huolto	9	
6	OM-B: Ilma-alustyyppikohtaiset ohjeet	9	
6.1	Yleistiedot	9	
6.2	Hätämenetelmät	10	
6.3	Suoritusarvot ja toimintarajoitukset	10	
6.4	Minimivarusteet	10	
6.5	Lentotiedot	10	
7	OM-C: Toiminta-alueet, reitit ja kartat	12	
8	OM-D: Henkilöstön kelpoisuus ja koulutus	12	

1 Johdanto

Tässä käsikirjassa käsitellään RPAS-lentämisen ohjeistusta Keravan ja Järvenpään kaupunkien alueella. Käsikirja on tehty liikenneviraston RPAS-toimintakäsikirjan pohjalta ja se sisältää yleiset ja ilma-alustyyppiset ohjeet, sekä turvallisuudenhallintajärjestelmän kuvauksen ja vastuuhenkilöiden tehtävät ja vastuunjaot

Keravalla Ilmailutoimintaa johtaa ja laitteistosta vastaa Keravan kaupungin karttoittaja **Olli Kunnas**

Järvenpäässä Ilmailutoimintaa johtaa Järvenpään kartastoinsinööri **Tuomo Markkanen**

Ilma-aluksen käyttäjinä toimivat:

Olli Kunnas Kerava

Mika Hakkarainen Kerava

Niko Kuusela Kerava

Janne Tihtonen Järvenpää

Yhteystiedot: **Keravan kaupunki, Paikkatietopalvelut PL 123 04201 Kerava**

Lentotoimintaa harjoitetaan Keravan ja Järvenpään kuntien alueella. Pääasiallinen käyttötarkoitus on kantakartan täydentäminen ja ylläpito ortokuvien pohjalta sekä maastomallien tekeminen/täydennyskartoitus pistepilvestä. Toissijainen käyttö on 3D-kaupunkimallin täydentäminen, koneohjausmallien lähtömateriaalin tuotanto, kiinteistöjen kuvaukset (video). Keravan alueella kaikki lentäminen ilman poikkeuslupia tapahtuu max. 50 metrin korkeudella maanpinnasta, koska kaupunki sijaitsee Helsinki-Vantaa lentoaseman CRM-alueella. Keravan ja Järvenpään RPAS-laitteistoon kuuluu yksi DJI Phantom 4 Pro multikopteri.

2 Muutostilanne ja voimassaolevien sivujen luettelo

Käsikirjan ylläpidosta vastaa Olli Kunnas ja käsikirjaa päivitetään aina kun

- RPAS-laitteistossa tapahtuu muutoksia,

- lentämisestä vastaavassa henkilöstössä tai vastuhenkilöstössä tapahtuu muutoksia,
- toimintatavoissa tapahtuu muutoksia
- uusien viranomaismääräysten tullessa voimaan
- muiden lentotoimintaan vaikuttavien muutosten kohdalla

Käsikirjaa säilytetään lentolaitteiston yhteydessä ja kaupungin verkkolevyllä sähköisessä muodossa. Käsikirjassa on versionumero joka vaihdetaan aina muutosten yhteydessä sekä päivämäärä. Versioista pidetään listaa käsikirjan liitteenä. Muutostilanne voidaan esittää voimassaolevien sivujen luettelona tai vastaavalla tavalla. Lisäksi jokaisella käsikirjan sivulla on oltava tunnistetiedot, kuten asiakirjan nimi ja versionumero.

3 Vastuuhenkilöiden ja lentotoimintahenkilöstön tehtävät ja vastuunjako

- Lentotoiminnasta vastaa Keravan kaupungin paikkatietopalveluiden kartoittaja Olli Kunnas jonka vastuualueeseen kuuluvat:
- RPAS-laitteiston ylläpito. Vastuu siitä että laitteisto on lentokunnossa ilman vikoja, sekä huoltaminen valmistajan ohjeiden mukaan ja tarvittaessa
- lennonsuunnittelu ja lennon turvallisuushallinta
- toimintakäsikirjan ylläpito

Lentotoiminnassa noudatetaan Trafín (liikenteen turvallisuusviraston) ohjeita OPS M1-32 TRAFI/90924/03.04.00.00/2016.

4 Turvallisuudenhallintajärjestelmän kuvaus

Turvallisuuspolitiikka ja tavoitteet:

Lentotoimintaa harjoitettaessa tehdään jokaisen lentosuunnitelman yhteydessä turvallisuusarviointi omalle lomakkeelle. Lomakkeet ovat verkkolevyllä (tähän hyperlinkki). Turvallisuusarviointilomakkeesta käy ilmi:

- Toimeksianto ja toimeksiannon kuvaus
- Lennättäjä, yhteystiedot, projektin nimi/numero ja päivämäärä
- Arvioidut vaaratekijät, niiden taajuus/todennäköisyys, vaarallisuus ja toimet vaaran pienentämiseen

Lentotoiminnan yhteydessä tapahtuneet poikkeus – ja vaaratilanteet analysoidaan heti lennon jälkeen. Tilanteisiin johtaneet syyt selvitetään ja niiden uusiutumisen estämiseksi päivitetään turvallisuusohjeistusta taikka lennättäjän koulutusta/harjoitusta. Lentotoiminnan suorittajan vastuulla on ohjeistuksen noudattaminen ja poikkeustilanteiden raportointi. Allekirjoitettu turvallisuuspolitiikkadokumentti (liite)tulee olla aina mukana lentoja suoritettaessa ja kopiota turvallisuus-suunnitelmasta lentolaitteen kuljetuskotelossa.

Henkilövahingoissa ja onnettomuuksissa soitettava 112 ja Turvallisuuspäällikkö Jarmo Leskinen 0403182321

5 OM-A: Yleistä

5.1 Lentotoiminta

Kaikessa Keravalla ja Järvenpäässä tapahtuvassa lentotoiminnassa tulee noudattaa tässä luvussa annettuja ohjeita.

- Kaikessa lentotoiminnassa on noudatettava multikopterin valmistajan antamia raja-arvoja (lisätään tähän kun kopteri on hankittu) kts. kohta 6.3
- Lentoalueen suunnittelussa on noudatettava alueella vallitsevia rajoituksia. Koko Keravan alue ja osa Järvenpäästä 50 metrin maksimi lentokorkeus. kts. kohta 6.4
- Tiheästi asutetun asutuskeskuksen yllä lennettäessä on otettava huomioon Trafin (liikenteen turvallisuusviraston) ohjeita OPS M1-32 TRAFI/90924/03.04.00.00/2016 kohdassa 3.1.15 esitetyt vaatimukset. Ohjeistus mukana kopterin kuljetuskotelossa
- Lentämisestä ilmoittaminen asuinalueilla?
- Ennen lennon aloittamista on käytävä läpi tarkastuslista (liite) joka säilytetään muiden lennosta arkistoitavien materiaalien yhteydessä.
- Jos kyseessä on BLOS (beyond line of sight) lento, lennättäjän ja tähystäjän varmistettava radiopuhelinyhteyden toimiminen lentoonlähtöpaikan ja tähystyspaikan välillä ennen lennon aloitusta, puhelin pidettävä varalla jos radiopuhelinyhteys katkeaa
- hätätilanteissa on noudatettava kohdassa 4 esitettyjä turvallisuusohjeita
- Lennoista on kirjattava ylös seuraavat tiedot lentopäiväkirjaan (lomake) jota säilytetään kopterin kuljetuslaukussa seuraavat tiedot:

- i. lennon päivämäärä sekä lähtö- ja lopetusaika
- ii. lentosää
- iii. lennätyspaikka
- iv. ilma-aluksen päällikkö eli lennättäjä
- v. ilma-aluksen valmistaja malli
- vi. onko kyseessä suoraan näköyhteyteen perustuva toiminta (VLOS) vai
- vii. suoran näköyhteyden ulkopuolella tapahtuva toiminta (BVLOS) vai
- viii. suoran näköyhteyden ulkopuolella tapahtuva toiminta (BVLOS)

Lentotoiminnan ohjaustoiminta varmistetaan noudattamalla valmistajan ohjeistuksia sekä poikkeustilanteiden turvaohjeistusta. Kopteria saa lennättää ainoastaan valmistajan koulutuksen multikopterin lennättämiseen saanut henkilö ja osoitettava kopterin hallintaan vaadittavat taidot. Kopterin varajärjestelmiä kuten hätälaskeutumista ja kotiinpaluuta harjoitellaan ja testataan tasaisin väliajoin (1kk), harjoituksesta on myös tehtävä merkintä lokikirjaan.

Multikopterin lennätystoiminnassa toiminnassa noudatetaan Trafim OPM M1-32 määräyksiä sekä työehtosopimuksen mukaisia työaika- ja sääteleviä määräyksiä. Sääolosuhteet selvitetään ennen lentoa ilmatieteenlaitoksen [ilmailusää](#) sivuilta ja varmistetaan muilta säätilan tarjoajilta kuten Foreca. Lenntäjän tulee tarkkailla säätilan muutoksia ja noudattaa kopterivalmistajan antamia tuuli- ja lämpötilarajoituksia.

5.2 Lentotoiminnan ohjausjärjestelmä

Ohjausjärjestelmän hallinnasta vastaa multikopterin lennättäjä. Ohjausjärjestelmän hallinta varmistetaan noudattamalla kopterivalmistajan ilmoittamia lentorajoituksia kuten sää, akun varaustilan minimiprosentti ja muut lentämistä valmistajan mukaan rajoittavat tekijät. Lisäksi lentäjä testaa ennen automaattisen lento-ohjelman alkua kauko-ohjaimen toiminnan ja kontrollin kopteriin. VLOS-lennättämisessä kopteri on oltava koko ajan lennättäjän näkökentässä tai vastaavasti BLOS-lennättämisessä on lennättäjän ja tähystäjän varmistettava yhteydenpito ja kopterin näkyvyys radiopuhelimilla. Ennen lentoa on käytävä läpi tarkastuslistassa(sivu) mainitut asiat joilla varmistetaan, että kopteri lentokunnossa.

Jos lennon aikana tapahtuu jotain poikkeavaa kuten akun äkillinen varaustilan lasku, äkillinen säänmuutos on kopteri laskettava maahan tai kutsuttava lähtöpaikalle, toimet suoritetaan tarpeen vaatiessa manuaalisesti, jos lentoautomaatioissa on ongelmia. Lennättäjä on koulutettu ja perehdytetty multikopterin erilaisiin hätälaskuvaihtoehtoihin.

5.3 Lento- ja työaikarajoitukset

Lento- ja työaikarajoituksissa noudatetaan lennättämisestä vastaavien henkilöiden työehtosopimuksessa (Teknisten sopimus) ilmoitettuja rajoituksia.

5.4 Sääolosuhteet

Sääolosuhteet tarkistetaan ennen lentoa ilmatieteenlaitoksen [ilmailusää](#) sivuilta ja varmistetaan muilta säätilan tarjoajilta kuten [Foreca](#). Lennättäjän tulee tarkkailla säätilan muutoksia ja varmistaa säätilan sopivuus lennättämiselle lennätyspaikalla. Lennätystä ei saa suorittaa ainoastaan sääennusteiden varassa vaan säätila on arvioitava aina paikan päällä, lennättäjä tekee aina päätöksen sääolosuhteiden sopivuudesta ja vastuussa säätilan arvioinnista.

5.5 Poikkeamista (onnettomuuksista/vaaratilanteista) ilmoittaminen

Henkilöihin kohdistuneissa vakavissa tapaturmissa ja omaisuuteen kohdistuvissa on välittömästi soitettava 112 (poliisi, sairaankuljetus, palokunta) ja ilmoitettava tapahtuneesta esimiehelle paikkatietojohtaja Ossi Örnille. Tämän jälkeen on pyrittävä estämään lisävahinkojen syntyminen.

Vaaratilanteista, ns. ”läheltä piti” ja muista toimintahäiriöistä raportoidaan lentoapäiväkirjaan ja asiat käsitellään lennättämisestä vastaavien henkilöiden kesken.

Lisäksi Trafi:lle on tehtävä kaikista Onnettomuus- ja vaaratilanteista lomakkeella ”Lentoturvallisuusilmoitus RPAS toiminnasta”.

.

5.6 Turvatoimet

Multikopteria tai sen ohjainta ei saa luovuttaa kolmannelle osapuolelle tai henkilöille joita ei mainita tässä oppaassa(kohta). Lentosuunnitteluun käytettävien tietokoneiden ja tablettien tietoturva on huolehdittava. Kopteria ja sen ohjau-

laitteistoa säilytetään lukitussa tilassa. Keravalla ja Järvenpäässä on ehdottomasti noudettava 50 metrin maksimilentokorkeutta (CRM-alue). Jos laite joutuu kolmannen osapuolen haltuun ja sillä ollaan aiheuttamassa vahinkoa, on vastuussa olevan lennättäjän painettava niin nopeasti kuin mahdollista "self destruct" nappia joka sijaitsee Keravan kaupungintalolla Kauppakaari 11 huoneessa 67 alin laatikko.

5.7 Lentokelpoisuus ja huolto

- Ennen multikopterin lennättämistä on käytävä läpi tarkastuslista (lomake) jota säilytetään multikopterin kuljetuslaukussa ja korjattava mahdolliset puutteet ennen lentoa lähtöä
- Kopterin yleiskunto on tarkistettava aina ennen lentoa lähtöä, mm. potkurien kiinnitykset. Huolloissa noudatetaan valmistajan ohjeistusta, huolloista vastaa Dronefactory Oy. Jos lennon aikana tai sen jälkeen multikopterissa havaitaan poikkeuksia tai vikoja, on lennättäminen kiellettyä ennen kuin vialla on korjattu hyväksyttävällä tavalla
- Lennotun aikana tapahtuneiden vikatilojen tai poikkeuksellisten tapahtumien syyt on selvitettävä mahdollisimman nopeasti ja ennen seuraavaa lentoa.
- Jos kopterissa, kauko-ohjaimessa tai Ipadissa havaitaan vikoja, on ne huollettava heti ennen lennättämistä, muuten huolloissa noudatetaan valmistajan tai maahantuojan antamia ohjeita ja aikatauluja. Kotiinpaluu toimintoa ja hätälaskeutumista on testattava kuukauden välein.

6 OM-B: Ilma-alustyyppikohtaiset ohjeet

6.1 Yleistiedot

- Malli DJI Phantom 4 Pro (vm 2017)
- Lentoaika max 30 min
- Viisisuuntainen esteentunnistusjärjestelmä
- Videolinkki ja radio-signaalijärjestelmä
- Kamera 1" kennolla ja 20Mp
- Kamerassa mekaaninen suljin
- 4K hidastuskuvaus 60 fps eli 2x hidastuksella
- Paino 1388 g
- Maksiminopeus 72 km/h

- GPS/GLOSNAASS paikannusjärjestelmä
- Maksimituuli 8/ms

6.2 Häätämenetelmät

- Automaattinen kotiin paluu ja laskeutuminen (return to home), sekä hitaasti laskeutuminen sen hetkisellem sijainnille (emergency landing)
- Akun virtamäärän jatkuva seuranta ja hälytykset
- Esteentunnistusjärjestelmä

6.3 Suoritusarvot ja toimintarajoitukset

- ilma-aluksen massa ja painopiste: 1388g
- ilma-aluksen suurin sallittu lentoonlähtömassa: 1500g
- suoritusarvorajoitukset: Max korkeus 6000m, nopeus 72 km/h, kulma 42°
- virtalähde: akku 5870 mAh
- lämpötilarajoitukset: 0-40°C
- tuulirajoitukset: max 8/ms
- näkyvyys: valot jokaisessa ulokkeessa
- sade: ei kestä sadetta
- jäätävät olosuhteet: ei kestä jäätäviä olosuhteita
- ukkonen: ei
- toiminta-alue: kts kohta 5.1
- yhteydenpitoon ja ohjattavuuteen liittyvät rajoitukset: esteetön yhteys radio-ohjaimen ja kopterin välillä 5 km

6.4 Minimivarusteet

Kaikkea lennättämistä suoritettaessa tulee mukana olla kaikki kopteriin kuuluvat varusteet ja vähintään 4 akkua sekä lennättämiseen tarvittavat oheislaitteet (Ipad ja puhelin). BVLOS-lennätystä tehdessä on mukana oltava toimivat radiopuhelimet lennättäjälle ja tähystäjälle sekä puhelimet. Ennen lennättämään lähtöä tulee tarkastaa, että lennon dokumentointiin vaadittavat lomakkeet ovat mukana. Hätävarusteet kuuluvat mittausauton varustukseen (ensiapulaukku).

Jos joku laitteiston tai lisävarusteiden osa-alue on epäkunnossa, ei lennättämistä voida suorittaa.

6.5 Lentotiedot

Lentotiedot on säilytettävä TraFi:in OPS m1-32 määräysten mukaisesti:

Kauko-ohjatuista lennoista on tallennettava seuraavat tiedot:

- a) lennätyksen päivämäärä,
- b) lennätyspaikka,
- c) ilma-aluksen päällikkö,
- d) ilma-aluksen valmistaja ja malli,
- e) lennätyksen tai lennätysjärjelyn alkamis- ja päättymisaika,
- f) onko kyseessä:
 - 1) suoraan näköyhteyteen perustuva toiminta (VLOS) vai
 - 2) suoran näköyhteyden ulkopuolella tapahtuva toiminta (BVLOS),
- g) lennätystehtävän luonne sekä maininta mahdollisesta kauko-ohjaustähtäjän käytöstä.

Tiedot lennätyksistä tulee säilyttää kolmen vuoden ajan.

Edellä mainittujen kohtien lisäksi, jos lennätys tapahtuu asutuskeskuksen tiheästi asutun osan tai kokoontuneen väkijoukon yläpuolella on noudatettava seuraavia sääntöjä (OPS m1-32 3.1.15)

- a) *ilma-aluksen suurin lentoonlähtömassa on enintään 7 kg.*
- b) *lennätys tapahtuu suorassa näköyhteydessä*
- c) *käytetään sellaista lentokorkeutta, että hätätilanteessa voidaan suorittaa lasku siten, että siitä aiheutuva vaara on ulkopuolisille ihmisille tai heidän omaisuudelleen mahdollisimman pieni, tai ilma-alus on varustettu siten tai on ominaisuuksiltaan sellainen, että ulkopuolisille ihmisille ja heidän omaisuudelleen aiheutuva vaara on mahdollisimman pieni,*
- d) *ilma-aluksen käyttäjä on laatinut toimeksiantokohtaisen kirjallisen turvallisuusarvioinnin, joka sisältää vaaratekijöiden tunnistamisen, riskien arvioinnin ja riskien vähentämisen*
- e) *ilma-aluksen käyttäjä on laatinut kirjallisen toimintaohjeistuksen, joka sisältää kuvauksen normaalitoiminnasta sekä toiminnasta häiriötilanteissa,*
- f) *edellä d) ja e) kohdissa tarkoitetut asiakirjat säilytetään vähintään kolmen kuukauden ajan toiminnan päättymisestä ja esitetään pyynnöstä valvontaviranomaiselle.*

Lentotiedot Keravan lennoista. säilytetään Keravalla paikkatietopalveluiden osastolla.

7 OM-C: Toiminta-alueet, reitit ja kartat

Lentotoiminta tapahtuu Keravan ja Järvenpään kaupunkien alueella. Koko Keravan alueella ja osassa Järvenpäästä on voimassa Helsinki-Vantaa lentoaseman CTR- ja ATS-alueisiin liittyvä lentokorkeuden rajoitus max. 50m. Tiheästi asutetun alueen tai väkijoukon yllä lennettäessä noudatetaan trafin määräyksiä OPS M1 3.1.15-16).

Lisätiedot muualla lentämisestä kts. AIP

8 OM-D: Henkilöstön kelpoisuus ja koulutus

- Keravalla lennätystoimintaan koulutuksen ja opastuksen ovat saaneet:
 - i. Olli Kunnas (Ilmailutoiminnasta vastaava)
 - ii. Kartoittaja Mika Hakkarainen
 - iii. Kartoittaja Niko Kuusela
- Järvenpäässä lentotoiminnasta vastaa kartoittaja Janne Tihtonen
- Henkilöstön koulutus ja kelpoisuus lentotoimintaan arvioidaan uudelleen vuoden 2018 aikana uusien EU-asetusten vaatimusten mukaisesti

Vastuuvapauslauseke

Tämä käsikirjamalli ei ole viranomaisen määräys tai lainsäädäntötoimi. Liikenteen turvallisuusvirasto (Trafi) ei ole vastuussa käsikirjamallin käytöstä kolmannelle osapuolelle tai muulle sivulliselle aiheutuvasta vahingosta tai haitasta.

RPAS-toimintaohje (DJI Phantom 4 Pro)

RPAS-lennättämisen toimintaohje Kerava/Järvenpää V1.0 2017

1. **Normaalitoiminta**

- 1.1. Alueen lentokelpoisuuden varmistaminen
- 1.2. Turvallisuusarviointi
- 1.3. Alustavan lentosuunnitelman laatiminen
- 1.4. Kaluston lentokunnon varmistus
- 1.5. Nousu-, lähtö- ja laskeutumispaikan valinta turvallisuusnäkökulmat huomioon ottaen (esim. sähkölinjat, liikenne, ihmisjoukot, asutus)
- 1.6. Näköyhteyden pysymisen varmistus, jos ei näköyhteyttä niin käytettävä tähystäjää
- 1.7. Lopullisen lentosuunnitelman teko lennonsuunnitteluohjelmistolla, varmista:
 - 1.7.1. Lentokorkeus (Keravalla 50m)
 - 1.7.2. Kamera-asetukset (suljinaika, peitto, kulma)
 - 1.7.3. Lento-ohjelman lataus kopteriin
- 1.8. Varmista tuuliolosuhteet
- 1.9. Lentoonlähtö:

- 1.9.1. Käynnistys, järjestyksessä Ipad, ohjain, drone (yksi nopea ja yksi pitkä painallus)
- 1.9.2. Varmista ettei muita ohjelmistoja kuin GS pro tai DJI Go ole päällä, varmista että lentosuunnitelma on oikein
- 1.9.3. Lähtöalueen esteettömyys
- 1.9.4. Automaattinen tai manuaalinen nousu
- 1.9.5. seuraa että kopteri nousee oikeaan lähtöpaikkaan
- 1.10. Seuraa että lento-ohjelman toteutus alkaa ja varmista että visuaalinen yhteys säilyy koko lennon ajan, seuraa myös akun varaustilaa
- 1.11. Lentosuunnitelman päättäminen ja laskeutuminen automaattisesti tai manuaalisesti
- 1.12. Sammuta laite ja poimi tiedot muistikortilta talteen
- 1.13. Täytä lentopäiväkirjaan lennon tiedot

- 2. **Häiriötilanteet**
- 2.1. Mahdolliset häiriötilanteet
- 2.1.1. Akun varaustilan romahtaminen

2.1.1.1. Suorita hätälaskeutuminen manuaalisesti turvalliselle alueelle mahdollisimman nopeasti

2.1.2. Akun varaustila kriittisen matala

2.1.2.1. Paluu lähtöpisteeseen tai hätälaskeutuminen turvallisesti

Return to home nappula tai laskeudu manuaalisesti turvalliseen paikkaan.

2.1.3. GPS:s paikannuksen menetys

2.1.3.1. Return to home nappula tai laskeudu manuaalisesti turvalliseen paikkaan.

2.1.4. Ohjaimen ja lennokin välisen yhteyden katkeaminen

2.1.4.1. Palautuu automaattisesti lähtöpaikkaan (return to home)

2.1.5. Akkuvirta vähissä

2.1.5.1. Paluu lähtöpisteeseen

2.1.6. Muun lentoliikenteen ilmaantuminen (esim. mediheli)

2.1.6.1. Laskeutuminen hallitusti mahdollisimman nopeasti.

Keravan RPAS-Lentopäiväkirja**RPAS-lentopäiväkirja V1.0
2017**

Lennätysaika (pvm) ____/____/201__.

Lennätyspaikka _____.

Ilma-aluksen päällikkö _____
(lennättäjä)

Valmistaja ja malli DJI Phantom 4 pro

Lentotoiminnan alkamis- _____ -

ja loppumisaika _____.

Näköyhteyteen perustuva toiminta (VLOS)

tai ilman näköyhteyttä (BVLOS) tähystäjän nimi: _____.

Lennätystehtävä: _____.

Lisätietoja tai lennätyksessä havaittuja poikkeustilanteita: _____



Tarkastuslista Kerava/Järvenpää

Toimistolla ennen lennätystä:

Akkujen lataus ja tarkistus

Lentoakut

Propellien tarkastus

Ipad akku

Kauko-ohjaimen akku

Tarkista että DJI GO toimii

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Mukaan tulevat tavarat (kuljetuslaukku)

Kopterit + akut

Kauko-ohjain

Ipad ja kaapelit

Muistikortin tila, varmista että tilaa on

Radiopuhelimet

Huomioilivi

Lentopäiväkirja ja muut asiakirjat

Autolaturi

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Lennätysalue:

Onko lennätysalueen luvat

kunnossa ja onko

riskianalyysi tehty?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

RPAS ja Drone:

Visuaalinen tarkastelu että kaikki kunnossa

Runko

Gimbaali/kamera

Irrotta suoja

Propellit

Muistikortti koneessa

Virrat päällä:

Valot ja muut toiminnot

Lentoakun varaus, aina täysi akku kun

lähdetään lentoon!!!

Lataa lento-ohjelma ja

varmista kamera-asetukset

kulma, peitto, ISO, kuvaustilitys, tarkennus

tuleeko POI?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Muista sammuttaa muut
ohjelmat Ipad:sta ennen
lentoohjelman aloittamista
jos lennät DJI GS
PRO:lla!!!!**

RPAS-tarkistuslista



Turvallisuusarviointi RPAS Kerava/Järvenpää V1.0 2017

Toimeksianto

Toimeksianton kuvaus

Projektin nimi			
Lennättäjä			
Yhteyshenkilöt			
Päivämäärä			

Vaaratekijät	Todennäköisyys	Vaarallisuus	Vaaran pienentäminen

Paikka

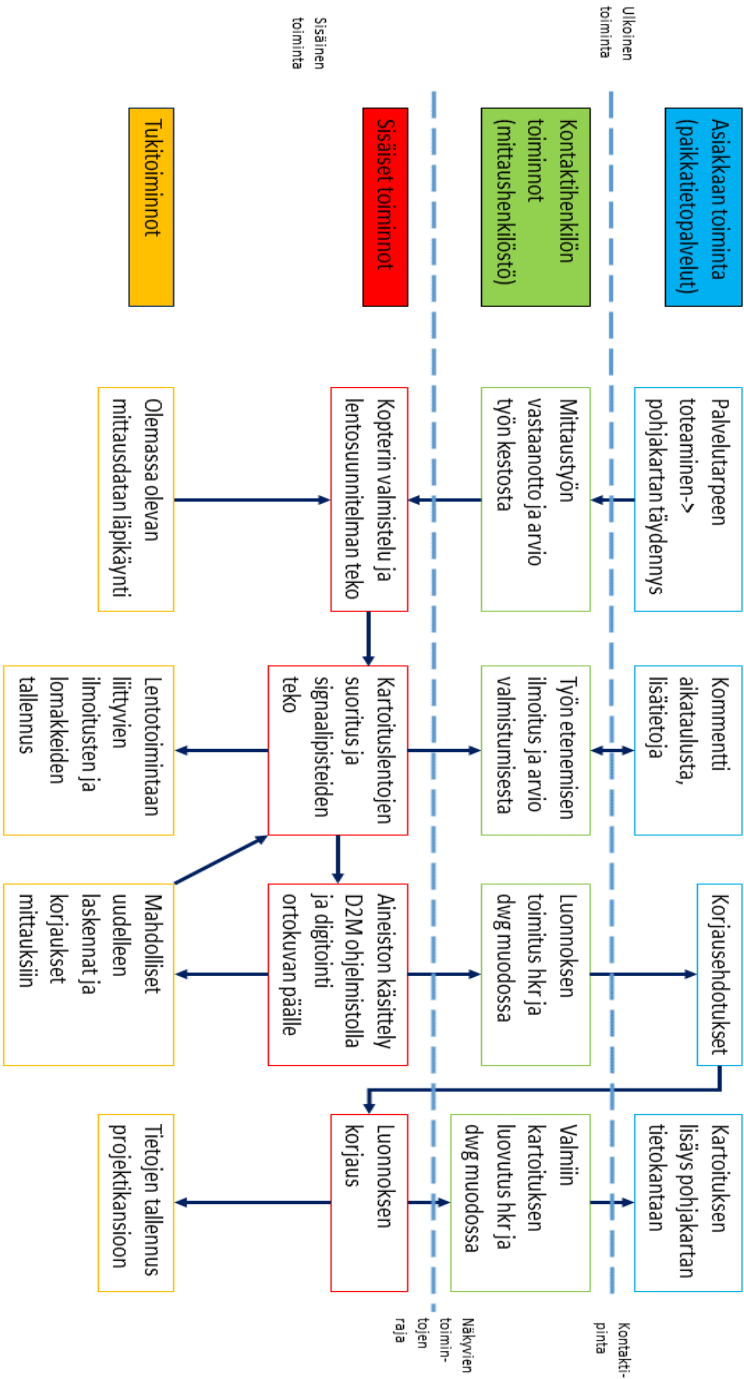
Aika

Allekirjoitus

Turvallisuusarviointi

Palveluprosessikaavio kartoitus (Mt148)

Mt148 täydennyskartoitus palveluprosessi



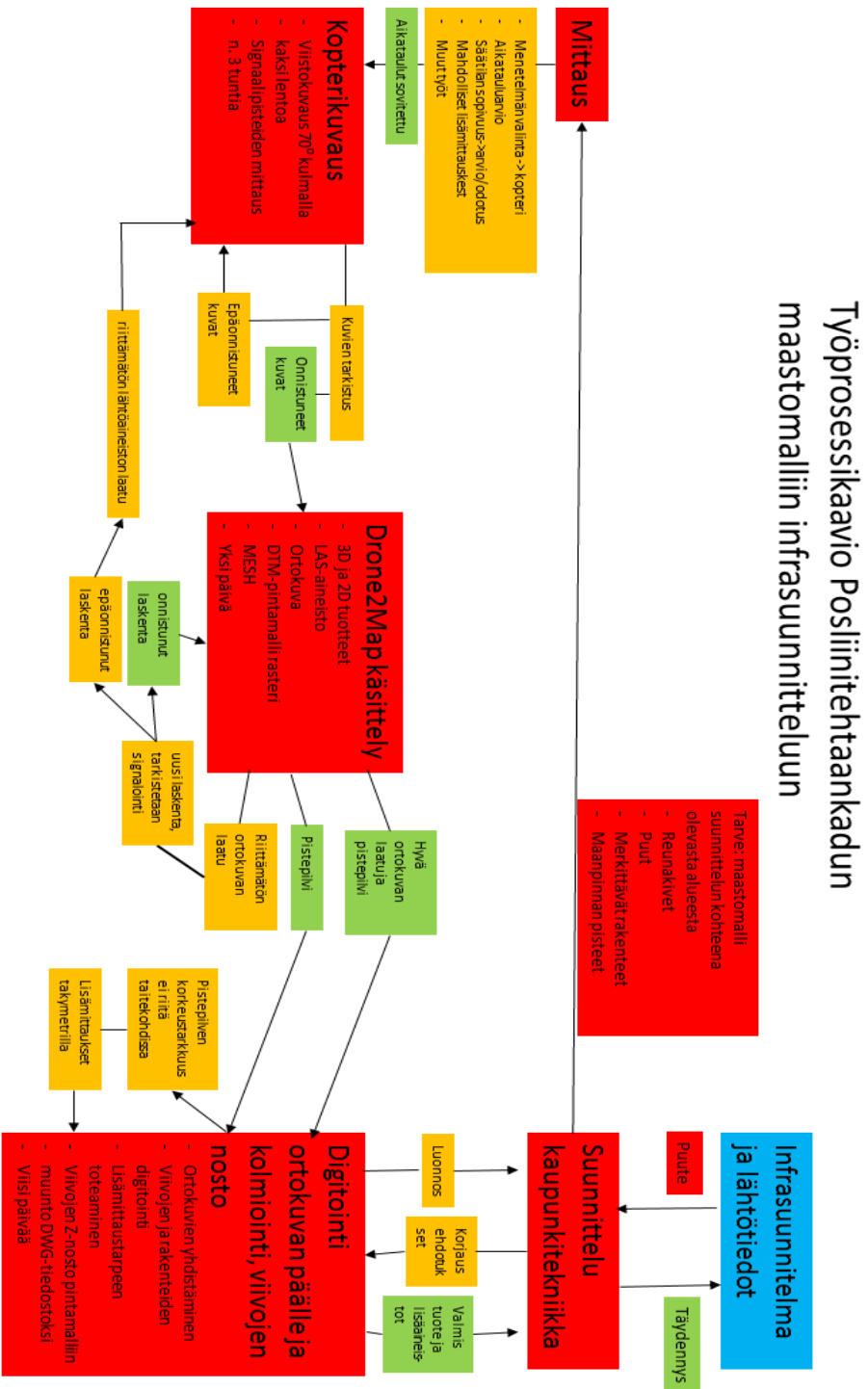
Sisäinen toiminta

Ulkoisen toiminta

Kontaktipinta

Näkyvien toimintojen raja

Työprosessikaavio maastomalli (Posliinitehtaankatu)



Palveluprosessikaavio 3D-mallinus (Viertola)

