

OPINNÄYTETYÖ
MIKKO KUMPULA 2013

UAV-LENNOKIN HYODYNNETTÄVYYS
ILMAKUVAKARTAN TEOSSA



Rovaniemen
ammattikorkeakoulu
University of Applied Sciences
LUC

MAANMITTAUSTEKNIikka

ROVANIEMEN AMMATTIKORKEAKOULU

TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

Maanmittaustekniikka

Opinnäytetyö

UAV-LENNOKIN HYÖDYNNETTÄVYYS ILMAKUVAKARTAN TEOSSA

Mikko Kumpula

2013

Toimeksiantaja -

Ohjaaja Pasi Laurila

Hyväksytty _____ 2013 _____

Tekijä	Mikko Kumpula	Vuosi	2013
Työn nimi	UAV-lennokin hyödynnettävyys ilmakuvakartan teossa		
Sivu- ja liitemäärä	37+6		

Opinnäytetyössäni käydään läpi UAV-lennokilla tehdyn ilmakuvaprojektin tärkeimmät vaiheet sekä esitellään niiden lopputulokset. Projekti toteutettiin vuoden 2012 kesän ja syksyn aikana. Opinnäytetyön keskeinen tarkoitus oli selvittää UAV-lennokin soveltuvuutta ortokuvamosaiikin tekoon Kemijärven kaupungille kaavakartan pohjaksi.

Opinnäytetyössä esitellään ilmakuvauksen historian kehittymistä ja perehdytään erilaisiin ilmakuvausmenetelmiin. Lisäksi keskitytään UAV-lennokkien nykyajan käyttömahdollisuuksiin ja esitellään lennokin avulla saatavia lopputuotteita. Tavoitteena oli myös pohtia UAV-lennokkien tulevaisuutta niitä koskevien puutteellisten lainsäädäntöjen ohella.

Insinööriyötä tehdessäni selvisi, että miehittämättömällä kevytrakenteisella ilma-aluksella pystyi toteuttamaan pienehkön alueen ilmakuvaukset ja lopputulokset olivat hyvin laadukkaita. Ortokuva kelpasi kaavakartan pohjaksi ja sen geometria oli erinomainen. Lennokkikuvaus oli kustannuksiltaan erittäin edullinen ja toteutukseltaan nopea verrattuna muihin ilmakuvausmenetelmiin.

Lisäksi selvisi, että UAV-laitteilla tehtävän ilmakuvauksen aikana tärkeää oli huomioida sään yhtäläisyys jälkikäsitteilyn nopeuttamiseksi. Kova tuuli ja sään vaihtelevuus näkyivät lopputuloksissa. Tulevaisuudessa UAV-laitteiden tekniikan kehittyessä ilmakuvista saadaan entistä laadukkaampia. Laitteita koskevien lainsäädäntöjen selventyessä lennokeilla pystytään kuvaamaan laajempia alueita ja niiden asiakaskunta kasvaa uusien sovellusten myötä.

Author	Mikko Kumpula	Year	2013
Subject of thesis	Aerial Mapping With the Help of an UAV Drone		
Number of pages	37+6		

This thesis was based on an aerial mapping project that was executed during the summer and fall of 2012 in the city of Kemijärvi. The thesis summed up the main points of the project and introduced the final results. The main objective of this thesis was to examine whether an unmanned aerial vehicle is suitable for producing orthoimages and if their quality was high enough to help the city planning. A secondary objective was to study the future of the UAV drones together with the legislation concerning them.

First the different aerial photography techniques and the history of the aerial mapping were presented. Next the present technology of the UAV drones and the different abilities were introduced. Finally the main focus was the planning of the UAV project as well as introducing the used equipment and the areas which were photographed were focused on.

The results of this thesis proved that a lightweight unmanned miniature aircraft can produce high quality aerial images and the images can be processed to an orthoimage. The final orthoimage can be used to help the city planning because the accuracy of the geometry was good enough. Aerial mapping with the help of an UAV drone was fast and cheap method compared to other aerial mapping techniques. It was important to have just about same weather conditions on each day when operating UAV drone. Variability of the weather conditions made the post processing of the images very difficult. In the future UAV drones can be used more effectively because of the technical developments. Much larger areas can be photographed when the legislations are more accurate.

Key words aerial photography, UAV, UAS, orthoimage, unmanned

SISÄLLYS

KUVIOLUETTELO	1
TERMI LUETTELO	1
1 JOHDANTO	2
2 ILMAKUVAUS	4
2.1 ILMAKUVAUKSEN HISTORIA	4
2.2 ILMAKUVAUS SUOMESSA	5
2.3 ENNEN ILMAKUVAUKSIA	6
2.3.1 Ilmakuvaussuunnitelma	6
2.3.2 Signaali	7
2.4 ILMAKUVAUSMENETELMIÄ	7
2.4.1 Miehitetty ilmakuvaus	7
2.4.2 Laserkeilaus	10
2.5 MIEHITTÄMÄTÖN ILMAKUVAUS	11
2.5.1 UAS ja UAV	11
2.5.2 Lainsäädäntö	12
3 MiniUAV-KUVAUSLENNOKIT	14
3.1 YLEISTÄ	14
3.2 KÄYTTÖTARKOITUKSET	14
3.3 TOIMINTAPERIAATTEET	15
3.4 PROSESSOINTI SEKÄ LOPPUTUOTTEET	17
3.4.1 Prosessointi	17
3.4.2 Ortokuva	18
3.4.3 Digitaalinen 3D-malli	19
3.4.4 Liikkuva kuva	21
4 LENNOKKIKUVAUS KEMIJÄRVELLÄ	22
4.1 UAS-PROJEKTI	22
4.2 KUVAUKSEN TAUSTAT	22
4.3 KUVAUSALUEEN ESITTELY	23
5 KUVAUKSISSA KÄYTETTY KALUSTO	24
5.1 LENNOKKI JA LISÄVARUSTEET	24
5.2 KAMERA	25
6 KUVAUSPROSESSI	27
6.1 KUVAUSTEN SUUNNITTELU	27
6.2 TOIMENPITEET MAASTOSSA	27
6.3 KUVAUSTEN TOTEUTUS	29
6.4 ILMENNEET ONGELMAT JA NIIDEN RATKAISUT	30
7 LOPPUTULOKSET	32
8 YHTEENVETO	33
8.1 UAV-LENNOKKI KAAVAKARTAN APUNA	33
8.2 TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT	34
LÄHTEET	36
LIITTEET	37

KUVIOLUETTELO

KUVIO 1. MUSTAVALKOISELLA, ELI PANKROMAATTISELLA FILMILLÄ OTETTU ILMAKUVA. (MAANMITTAUSLAITOS 2013)	9
KUVIO 2. VÄRIFILMILLÄ OTETTU ILMAKUVA. (MAANMITTAUSLAITOS 2013)	9
KUVIO 3. LÄHI-INFRALLE HERKISTETYLLÄ VÄÄRÄVÄRIFILMILLÄ OTETTU ILMAKUVA. (MAANMITTAUSLAITOS 2013).....	9
KUVIO 4. UAV-LAITTEIDEN LUOKITTELU JA NIIDEN YLEISYYSPROSENTTI. (NYKÄNEN 2012)	12
KUVIO 5. LÄHTÖVALMIUDESSA KATAPULTIN PÄÄLLÄ OLEVA C-ASTRAL BRAMOR-UAV – LENNOKKI. (NYKÄNEN 2012).....	16
KUVIO 6. KEMIJÄRVEN KESKUSTASTA UAV-LENNOKILLA OTETTU ORTOKUVA. (NYKÄNEN 2009)	19
KUVIO 7. FOTOGRAMMETRISIN KEINAIN TUOTETTU 3D-KORKEUSMALLI. KUVASSA KORKEUSEROT HAHMOTTUVAT ERI VÄREIN. (NYKÄNEN 2012)	20
KUVIO 8. KUVAUSALUE. KUVASSA PUNAISELLA ALKUPERÄINEN KUVAUSALUE, SEKÄ SINISELLÄ LAAJENNETTU LOPULLINEN KUVAUSALUE. (KEMIJÄRVEN KAUPUNKI 2012).....	23
KUVIO 9. KOMPRESSORI LATAA KATAPULTTIIN HALUTUN ILMANPAINEN. (C-ASTRAL 2013)	25
KUVIO 10. LENNOKIN KAMERA-AUKKON ASENNETTU PYÖRIVÄ GIMBAL-VIDEOKAMERA. (C-ASTRAL 2013)	26
KUVIO 11. SIGNAALIEN SIJAINTI KUVAUSALUEELLA. (KEMIJÄRVEN KAUPUNKI 2012)	28
KUVIO 12. KUVAUSALUEEN MAASTOON RAKENNETTU SIGNAALI NUMERO 3. LEVYT OVAT REILUN METRIN PITUISIA. (TEKIJÄN KUVA)	29

TERMI LUETTELO

UAV = Unmanned Aerial Vehicle

UAS = Unmanned Aircraft System

IMU = Inertial Measurement Unit

SAR = Synthetic Aperture Radar

Pitot-putki = mittalaite, jolla mitataan virtauksen paikallista nopeutta paine-eron avulla

EAKR = Euroopan aluekehitysrahasto

ESR = Euroopan sosiaalirahasto

Gimbal = nivelliitos, joka mahdollistaa objektin kääntymisen mihin suuntaan tahansa

1 JOHDANTO

Idea tämän opinnäytetyön aiheen valitsemiseen syntyi kesäkaudella 2012, kun olin suorittamassa viimeistä työharjoittelua opintojeni kannalta. Työskentelin toukokuun 2012 lopusta alkaen Kemijärven kaupungin teknisen viraston maankäytön osastolla maanmittausharjoittelijana. Työnkuvaani kuului pääasiassa pohjakartan ylläpitoon liittyvät kartoitusmittaukset sekä maastomallin tekoon liittyvät kartoitusmittaukset tulevia uusia katuhankkeita pohjustaen. Työskentelin kaupungingeodeetti Tapio Pöyliön sekä maanmittausteknikko Tapio Sipovaaran alaisena. Työni oli suureksi osaksi itsenäistä, mutta usein käytiin myös erilaisia keikkamittauksia suorittamassa kahdestaan maanmittausteknikon kanssa.

Työhöni kuului suurelta osin varsinkin alkukesästä pienimuotoisessa ilmakeuhausprojektissa mukanaolo. Minulle kerrottiin työni alkuvaiheessa, että suunnitteilla olisi hyödyntää miehittämättömällä UAV-lennokilla tehtävää ilmakeuhausta kaavoituksen pohjana sekä uuden pohjakartan teossa. Kyseessä oli pienehkö alue, joka kattoi Kemijärven laitakaupungin Sipovaaran sekä Kallaanvaaran ympäristöt. Kuvaus suoritettiin tilaustyönä paikallisen UAS-projektin vetäjiltä, jotka suorittivat lennokin lennättämisen ja kuvaukset. Kuvauksista saadut kuvat toimitettiin Kemijärven Kaupungille myöhempää käsittelyä varten tietokoneohjelman avulla. Oma osuus projektiini oli ennen kuvauksia suoritettavat maastomittaukset ja muut teknilliset valmistelut, kuten signaalien pystytykset ja kartoitukset.

Kesän lopulla seurattuani ensimmäisiä lennökkikuvauksia keksin, että ehkäpä voisin tehdä aiheesta opinnäytetyöni. Työkollegoiltani sain asiaan myönteistä suhtautumista ja Kemijärven kaupungilta luvattiin informoida minua projektin lopputuloksista, kunhan kaikki kuvaukset ja kuvien käsittelytoimenpiteet on saatu päätökseen.

Opinnäytetyöni alussa esitän hieman ilmakeuhauksen historiaa osana kaukokartoitusta sekä esitän UAV-lennokin hyödynnettävyyttä erilaisissa ilmakeuhauksissa. Sen jälkeen saatuaani tarvittavan aineiston kokoon esitän kyseisen UAV-lennokilla suoritettun ilmakeuhausprojektin läpiviennistä

valmisteluineen ja lopputuloksineen. Esitän myös projektin lopullisen arvon Kemijärven kaupungin kannalta. Esittelen myös kyseisissä kuvauksissa käytetyn kaluston ja kuvausalueen. Tarkoitus on myös perehtyä ilmakuvausalan tulevaisuuteen UAV-laitteiden näkökulmasta. Lopuksi pohditaan, että soveltuuko UAV-lennokkien hyödyntäminen kaavoituksen avuksi sekä vertaillaan lennökkikuvausta muihin ilmakuvauksen menetelmiin.

2 ILMAKUVAUS

2.1 Ilmakuvauksen historia

Ilmakuvaus on yksi kaukokartoituksen osa-alue. Kaukokartoituksella tarkoitetaan informaation hankkimista kohteesta ilman, että sitä kosketetaan. Informaatio saadaan sähkömagneettista säteilyä hyödyntäen, joka on peräisin auringosta, maasta tai havaintolaitteesta. Havaintolaitteina voidaan pitää erilaisia kameroita, keilaimia tai tutkia. Kerätyt tiedot tallennetaan yleensä kuvina, joiden avulla kohde mitataan ja tulkitaan. (Laurila 2011, 2-3.)

Ilmakuvauksen historian voidaan tulkita alkaneeksi vuonna 1839, jolloin valokuvaus keksittiin. Historia voidaan jaotella noin 50 vuoden pituisiksi jaksoiksi eri vaiheiden mukaan. Jokainen jakso alkaa oman aikansa tieteellisistä sekä teknisistä läpimurroista. Aivan aluksi kaikki alkoi maakuvauksesta, jolloin maakuvia käytettiin mittapöydällä karttaa tekevän topografin havaintokirjana. Sen jälkeen analogisen fotogrammetrian jakson aikana oivallettiin analogisten ilmakuviin otto ja niiden myötä oikaistut ilmakuvakartat. Analyttisen fotogrammetrian jaksossa sovellukset ohjelmoitiin tietokoneelle ja menetelmät kehittyivät pistetihennykseksi tuottaen tarkkoja maastomalleja. Digitaalisen fotogrammetrian jakso alkoi 1960-luvulla ja jatkuu edelleen. Kuvat digitalisoituivat, valokuvauksen rinnalle tuli uusia kuvaustekniikoita sekä mittaukset tarkentuivat ja nopeutuivat. (Haggrén 2011, 9.)

Maailmansotien välinen aika 1920- ja 1930- luvuilla oli merkityksellistä aikaa ilmakuvaustekniikoiden kehityksen kannalta. Aikaisemmin ilmakuvausissa käytetyt kuumailmapallot ja ilmalaivat korvautuivat lentokoneilla. Saksalaisen E. O. Messterin kehittämällä sarjamittakameralla ilmakuvaattiin koko kartoitusalue niin, että kuvat peittivät toisensa. Peitot olivat aluksi niukkoja, mutta kuvaamista tehostamalla sekä laajakulmaisesta optiikan käyttöönotolla saatiin kuvista suurempikokoisia ja täten kuvien välinen peittosuhde kasvoi huomattavasti. Ongelmana oli kuitenkin kameran ulkoisen orientoinnin eli kuvauspaikan määrittäminen jälkikäteen. Ilmakuvaushetkellä asemapistettä ei tunnettu, joten kuva oli orientoitava kohteen näkymän perusteella. Aluksi

ilmakuvat orientoitiin visuaalisesti, eli kuva heijastettiin kartan päälle, jolloin kuvaa suurentamalla ja pöytälevyä kallistamalla kuva ja kartta voitiin sovittaa yhteen. Mikäli kuvan alueella näkyi vähintään kolme kiintopistettä, voitiin orientointi määrittää laskemalla. Ongelmana oli kuitenkin laskutoimitusten hankaluus ja kiintopisteiden hidas mittaaminen. Automaattinen tietojenkäsittely alkoi tulla käyttöön 1950-luvulta lähtien, jonka myötä erilaiset tietokoneohjelmat alkoivat yleistyä. (Haggrén 2011, 12-13.)

Nykyään ilmakuvaamisen historian aikana tapahtuneen kehityksen ansiosta kuvaustekniikat ovat muuttuneet analogisista digitaalisiksi. Tämä on lyhentänyt tiedonkeruuseen kuluvan ajan vuorokausista sekunnin murto-osiin ja kuvien käsittelyyn kuluvan ajan vuosista sekunneiksi. Kehityksen myötä ilmakuvauskarttojen sisältö on moninkertaistunut ja yksityiskohtaisuus lisääntynyt. (Haggrén 2011, 18)

2.2 Ilmakuvaus Suomessa

Suomessa ilmakuvia on käytetty valtakunnallisissa kartoitustöissä jo 1930-luvulta lähtien. Toisen maailmansodan jälkeen suoritettu Suomen peruskartoitus vuosina 1947–1977 oli teknisesti mahdollista vain ilmakuvausten avulla. Nykypäivänäkin useimmat kartoitustyöt valtakunnallisella sekä kunnallisella laajuudella tehdään ilmakuvien tai digitaalisten kuvauslaitteiden tuottamien kuvien pohjalta. Osa kuvauksista palvelee myös muita käyttötarkoituksia kuten ortokuvat tuotantoa ja metsätaloussuunnittelua. Vuonna 2006 Suomessa tapahtui selkeää siirtymistä mittakameroilla tuotetuista kuvista digitaalikameroilla suoritettuihin kuvauksiin. Tämän ansiosta saadaan yhdellä kuvauskerralla tuotettua enemmän kuvia ja täten kuvattua laajempia alueita. Ilmakuvauksia Suomessa suorittaa eri yritykset. Yksi suurimmista perinteisillä mittakameroilla ja digitaalisilla kuvauslaitteilla kartoitusilmakuvausta tekevä yritys Suomessa on Blom Kartta Oy, joka hoitaa suuren osan Suomessa tehtävistä kuvauksista. (Laurila 2008, 39.)

2.3 Ennen ilmakuvauksia

2.3.1 Ilmakuvaussuunnitelma

Ennen ilmakuvauksia on aina tehtävä ilmakuvaussuunnitelma, joka tehdään tarjouspyyntöä sekä tukipiste- ja signalointisuunnitelmaa varten. Ilmakuvaussuunnitelma käsittää suunnitelmakartan ja sitä täydentävän selostuksen. Ilmakuvausalueelle vaaditut mittaustekniset toimenpiteet tulee esittää tukipistesuunnitelmassa. Kartoitettava alue määräytyy uloimpien lähtöpisteiden mukaan, joten tukipistesuunnitelma ja kuvaussuunnitelma on tehtävä samanaikaisesti. Signaloitavat pisteet, signaalikoko ja signalointitapa tulee esittää signalointisuunnitelman yhteydessä. (Laurila 2011, 5.)

Kuvaussuunnitelmaa laadittaessa otetaan huomioon kartoitettavan alueen muoto. Kuvausjonojen suunta valitaan siten, että kuvausjonojen määrä ja kuvien määrä pyritään minimoimaan. Yleensä kuvausjonojen suuntana käytetään itä-länsisuuntaisia kuvausjonoja, mikäli alueen muoto tämän sallii.

Kuvaussuunnitelmassa / kuvauskartassa tulee ilmoittaa ainakin seuraavat tiedot:

- alueen sijainti (karttalehden numero kunta ja/tai yleislehtijaossa)
- kuvauksen käyttötarkoitus
- kuvauksen mittakaava, kuvauskorkeus ja alueen keskikorkeus
- käytettävät pituus- ja sivupeitot
- kuvauksessa käytettävä kamera
- kuvauksessa käytettävän ilmakuvausfilmin tyyppi
- signaloinnin suorittaja ja sen laajuus
- kuvauksen aikataulu.

Jos toteutustapana on niin sanottu täsmäkuvaus, alueen sijainnin ilmoituksessa voidaan käyttää suoraan kuvanottoipaikan koordinaatteja. Kuvausprosessin fotogrammetristen edellytysten täyttyminen varmistetaan aina kuvauskartan avulla. (Kaavoitusmittausohjeet 2003, 16-17)

2.3.2 Signalointi

Fotogrammetrista kartoitusta varten signaloidaan, eli näkyvöitetään tarpeellinen määrä tuki- ja kiintopisteitä. Signaloidun runkopisteistön on oltava niin runsas, että se kattaa täysin koko kuvattavan alueen. Runkopisteitä signaloidaan etenkin alueen nurkkiin ja reunoille sekä kuvausjonojen saumakohtiin. Signaalien koko määräytyy kameran ja kuvausmittakaavan mukaan. (Kaavoitusmittausohjeet 2003, 18.)

Signaalin vaativia kohteita ovat myös kaikki maastonkohteet, joiden koordinaatit halutaan rekisteröidä tarkasti. Signalointi tehdään yleensä rakentamalla tai maalaamalla halutun pisteen päälle helposti havaittavissa oleva kuvio. Kuvio on yleensä ristin, ympyrän, kolmion tai T-kirjaimen muotoinen. Oleellista on, että signaloitava piste sijaitsee ristin sakaroiden tai niiden jatkeiden leikkauspisteessä sekä pyöreissä signaaleissa kuvion keskipisteessä. Kuvanäkyvyyden kannalta tärkeää on, että signaali on muodoltaan symmetrinen ja sen kontrasti on hyvä. Signalointi voidaan tehdä myös epäsymmetrisesti tapauksissa, jossa symmetrisenä kuviona se jäisi osittain esimerkiksi rakennusten katveeseen tai jos symmetrisen signaalin rakentaminen maaston muotojen vuoksi on hankalaa. Signaali voidaan rakentaa maaston hankaluuden vuoksi myös jonkin matkan päähän signaloitavasta pisteestä, kunhan signaaleja rakennetaan kaksi per piste ja kunhan molemmista signaaleista mitataan sidemitat näkyvöitettävään pisteeseen. Tyypillinen signaalin väri on maastosta hyvin erottuva valkoinen väri tummalla pohjalla. (Haggrén, 8/2003, 7-9.)

2.4 Ilmakuvausmenetelmiä

2.4.1 Miehitetty ilmakuvaus

Miehitetyllä lentoaluksella tehtyä ilmakuvausta on pietetty perinteikkäimpänä ilmakuvausmenetelmänä aina tähän päivään asti. Ilmakuvaus tapahtuu asentamalla kalibroitu ilmakuvauskamera kuvauskoneeseen, jolla pyritään lentämään mahdollisimman hitaasti, jotta kuvan laatua heikentävä kuvaliike saataisiin minimoitua. Otollinen lentonopeus on noin 200 km/h. Ilmakuvauskameran säännöllinen kalibrointi on tärkeää, sillä

fotogrammetrisia mittauksia varten tarvitaan tarkat tiedot kameran kuvanmuodostuksen geometriasta. Kuvia otetaan lentämällä ilmakuvaussuunnitelman mukainen reitti poikittaislinjoittain niin, että koko kuvausalue saadaan peitettyä kuvin. Kuvauskorkeus pidetään koko prosessin ajan samana ja riittävän alhaisena riippuen käytettävästä kamerasta ja kuvien käyttötarkoituksesta. Siviilikäytössä olevilla kameroilla voidaan kuvata alimmillaan noin 500 m korkeudesta, mutta sotilaskäytössä on kuitenkin paljon tehokkaammilla kuvaliikkeen kompensattoreilla varustettuja kameroita, joiden avulla saavutetaan entistä alhaisempia kuvauskorkeuksia. Kuvauksen ohjaus tapahtuu satelliittipaikannusta käyttäen, minkä ansiosta kuvat voidaan ottaa täsmälleen halutuista paikoista. Satelliittipaikannusta hyödyntäen myös kuvauspaikan koordinaatit tallentuvat, mikä edesauttaa kuvien jälkikäsitteilyä sekä helpottaa mahdollisia myöhemmin suoritettavia mittauksia. (Laurila 2008, 23.)

Ilmakuvat tallennetaan valokuvausfilmille emulsioksi kutsuttuun hopeasuolakerrokseen. Emulsiot voidaan herkistää ainoastaan näkyvälle ja lähi-infrapunaselle valolle. Emulsioiden herkkyuden perusteella ilmakuvauksilmit voidaan jaotella kolmeen luokkaan, jotka ovat mustavalkoiset filmit, väri filmit sekä väärä väri filmit. Mustavalkoinen, eli pankromaattinen filmi on yleisin filmityyppi normaaleissa kartoitusilmakuvauksissa sen halvan hinnan vuoksi. Väri filmejä käytetään suurikaavaisissa kartoitus- ja maastomallikuvauksissa esimerkiksi kaupunkialueilla tai tiensuunnittelussa. Väärä väri filmejä eli lähi-infralle herkistettyjä filmejä käytetään muun muassa kasvillisuuden tutkimiseen, koska kasvillisuus heijastaa infrapunaista valoa, jonka ansiosta elollinen luonto näkyy punaisen sävyinä ja eloton sekä rakennettu ympäristö näkyy sinisen sävyinä. (Laurila 2008, 24-25.)



Kuvio 1. Mustavalkoisella, eli pankromaattisella filmillä otettu ilmakekuva.
(Maanmittauslaitos 2013)



Kuvio 2. Värifilmillä otettu ilmakekuva. (Maanmittauslaitos 2013)



Kuvio 3. Lähi-infralle herkistetyllä väärävärifilmillä otettu ilmakekuva.
(Maanmittauslaitos 2013)

2.4.2 Laserkeilaus

Laserkeilain on optinen tutka, joka toimii näkyvän valon, lähi-infran tai ultravioletin alueella. Laserkeilaimen toiminta perustuu laserpulsseihin, joita laite lähettää. Kohteen ja laserin välinen etäisyys mitataan laserpulssien kulkuajan perusteella ja tuloksena saadaan suuri joukko kolmiulotteisia pisteitä. Useimmat laserkeilaimet vastaanottavat yhdelle havainnolle useampia kaikuja. Ensimmäinen kaiku palaa takaisin ensimmäisestä esteestä, johon laserpulssi osuu, mutta toinen kaiku voi mennä joidenkin esteiden esimerkiksi puiden lehvästön läpi antaen etäisyshavainnon vasta todellisen maanpinnan kohdalta. Kun laserkeilaimen asento ja paikka ovat tarkasti tunnetut, mitattu etäisyys voidaan muuttaa korkeudeksi. Pisteistä muodostetaan pintamalli (DSM = digital surface model). Pintamallista voidaan muodostaa digitaalinen korkeusmalli (DEM = digital elevation model) suodattamalla pois kaikki maanpinnan tasosta poikkeavat kohteet, kuten edellä mainitut puiden lehvästöt. (Rönholm-Haggrén, 10/2004.)

Ilmalaserkeilaus on yleistynyt nopeasti maaston ja ympäristön mittauksissa. Laserkeilain kiinnitetään kuvauskoneeseen, jolla lennetään keilattavan alueen yläpuolella suunniteltu reitti, samoin kutein perinteisessä ilmakuvauksessa. Kohteesta ja kuvauskoneesta riippuen lentonopeus on 36–130 kilometriä tunnissa ja kuvauskorkeus 60–4000 metriä. Keilaimella tuotettu pistetiheys on keskimäärin 0,06-25 pistettä/neliometri riippuen päällekkäisten lentolinjojen määrästä. Aineiston orientoimista varten GPS-havainnoilla mitataan kuvauskoneen sijainti ja IMU-järjestelmällä mitataan kuvauskoneen asento. Ilmakuvaukseen verrattuna laserkeilaus ei edellytä tiheää tukipisteverkkoa maanpinnalla, sillä riittää että käytössä on vain yksi tarkka referenssipiste GPS:n tukiasemavastaanotinta varten. (Hyyppä-Hyyppä 2003, 1-2; Rönholm-Haggrén, 10/2004.)

Koska laserkeilaus on tehokas menetelmä korkeusmallien hankintaan, soveltuu se hyvin maasto- sekä pintamallien mittaamiseen myös peitteisillä alueilla. Keilausaineistoa voidaan käyttää myös pinnanmuotojen massalaskentaa varten. Suunnitteluvaiheessa keilauksesta on hyötyä linjamaisten kohteiden kuten rautateiden, teiden, putkien sekä sähkölinjojen

suunnittelussa. Laserkeilaamalla voidaan inventoida metsiä, tehdä kaupunkimalleja, tuottaa lentoestekarttoja sekä tehdä tulvakartoituksia rannikko- ja jokialueilla. Entistä tarkempia lopputuloksia saadaan tuotettua orientoimalla laserkeilausaineisto samasta paikasta otettuun ilmakuvaineistoon. Tällä periaatteella saadaan molempien menetelmien hyödyt yhdistettyä. (Rönholm-Haggrén, luento 10/2004)

2.5 Miehitämätön ilmakuvauus

2.5.1 UAS ja UAV

Miehitämätön lentolaitejärjestelmä (=UAS, Unmanned Aircraft System) ja miehitämätön lentolaite (=UAV, Unmanned Aerial Vehicle) ovat miehitämättömän ilmakuvauksen termejä. UAV:llä tarkoitetaan helikopterityyppistä tai kiinteäsiipistä, miehitämätöntä lentolaitetta, joka toimii sähkö- tai polttomoottorilla. Kyseessä voi olla myös ilmapallo. UAS, eli miehitämätön lentolaitejärjestelmä koostuu miehitämättömästä lentolaitteesta, siinä olevasta sensorista, maa-asemasta sekä niiden välillä olevista viestiyhteyksistä. Sensorina UAV-laitteessa voi olla still- tai videokamera, infrapuna- tai väärävärrikamera, hyperspektrikamera, SAR-tutka, magnetometri ja nykyisin myös laserkeilaimia on käytössä niiden entistä pienemmän kokonsa vuoksi. (Itä-Lapin ammattiopisto 2012, UAV-esite)

UAV lentolaitteet voidaan luokitella eri ryhmiin niiden kokonsa perusteella. Pienimmät UAV:t sopivat nyrkkiin ja suurimmat ovat liikesuihkukoneen kokoisia. Yleisimmät käyttötarkoitukset UAV-laitteille ovat viranomaiskäytössä tehtävät toimenpiteet, kuten etsintätyöt, erilaiset luonnonvarakäyttöä edesauttavat kuvaukset, kuten kaivoksen ja maankäytön suunnittelu sekä kuvaamisen tarve ylhäältäpäin yleensäkin mistä tahansa kohteesta. Suomessa suurimmat käytössä olevat UAV-koneet ovat puolustusvoimien Oerlicon Ranger-lentolaitteet, joita tykistörikaati käyttää tiedusteluun, valvontaan ja tulenjohtoon. Tämän kokoluokan lennokit vaativat ilmatilan sulkemista muulta lentotoiminnalta. (Vanhala 2012, 67.)

UAS tyyppejä n 1400 erilaista...



Kuvio 4. UAV-laitteiden luokittelu ja niiden yleisyysprosentti. (Nykänen 2012)

2.5.2 Lainsäädäntö

UAV-toiminnassa ei ole Suomen laissa voimassa olevia virallisia ilmailumääräyksiä. Suomen ilmailulaissa on vain maininta, että kokeilu- tai tutkimustarkoituksiin käytettävä miehittämätön ilma-alus saa poiketa normaaleista lentosäännöistä tarkoitusta varten tilapäisesti erotetulla alueella, jos poikkeava menettely on suunniteltu ja toteutettu siten, ettei lentoturvallisuutta vaaranneta. Poikkeavaan menettelyyn on myös haettava myöntymys Liikenteen turvallisuusvirasto TraFi:lta. (Ilmailulaki 2009, 6 §.) Euroopan Unionin asettamien säädösten mukaan alle 150 kg painaville lentolaitteille on kunkin valtion laadittava omat säädöksensä. Itä-Lapin ammattopiston UAS-projektipäällikkö Jari Nykäsen mukaan on olemassa työryhmä, joka pyrkii säätämään kyseisiä säädöksiä pienempikokoisille miehittämättömille lentolaitteille. Kuvauslennokkien käyttöä koskevat samat siviilimääräykset, kuin mille tahansa radio-ohjatulle harrastelennokille. TraFi:n ohjeistuksen mukaan suositeltava lentokorkeus on korkeintaan 150 m maanpinnasta ja lennokin on oltava koko ajan näköetäisyydellä. Lisäksi suosituspaino on alle 10 kg ja lennätettäessä tulee käyttää ilmailuskannetta

tai ilmailuradiota. (Kostamo 2013.) Jos näistä poiketaan, on ilmatila varattava kyseiseltä alueelta lennonjohdon valvomassa ilmatilassa.

3 MiniUAV-KUVAUSLENNOKIT

3.1 Yleistä

Lennokkipohjaiset Mini-kokoluokkaan sijoittuvat lentolaitteet ovat nopeasti yleistyneet ammattikäytössä muutaman vuoden sisällä. Pienen kokonsa ja helppokäyttöisyytensä vuoksi digitaalikameralla varustettu sähkölennokki tai –helikopteri on mainio kuvausväline pienelle tai keskisuurelle alueelle. Lennokkipohjaiset kuvauslaitteet eivät ehkä ole yhtä vakaita, kuin isomman kokoluokan laitteet, mutta lennokkikuvauksissa saatu suuri kuvamäärä ja nykyajan älykäs prosessointi korjaavat ongelman. Lisäksi kehitys on mahdollistanut lennokkien kantavan entistä raskaampia hyötykuormia jopa viiteen kilogrammaan saakka, minkä takia lennokkeihin voidaan asentaa nykyään huippuluokan kuvausvälineitä. Kuvauslennokkien tavanomainen lentokorkeus on 150-200 metriä ja lentonopeus 40-70 km/h. (Vanhala 2012, 66.) Esittelen yksityiskohtaisemmin kesätöissä 2012 suoritetun lennokki-ilmakuvauksen kuvauslaitteet myöhemmin työssäni.

3.2 Käyttötarkoitukset

Pitkien tielinjojen, voimalinjojen sekä vastaavien kapeiden ja pitkien kohteiden kuvaaminen onnistuu edelleen parhaiten helikopterilla tai lentokoneella, mutta rajattujen kohteiden, esimerkiksi risteyksien, avolouhoksien ja kaupunki- sekä asutusalueiden kuvaaminen lennokilla on erittäin aikaa sekä kustannuksia säästävää. Tyypillinen suoritettava kuvaustehtävä sisältää lentojen suunnittelun, kartoituslennot sekä kuvaprosessoinnin ja kustantaa vain noin 2000–6000 euroa. Lukemat ovat huomattavasti pienempiä verrattaessa järeämmällä kalustolla suoritettavaan kuvaukseen. Yksi mies kartoittaa lennokin avulla muutamassa tunnissa laajahkon vaikeakulkuisen alueen, mikä on huomattavasti nopeampaa, kuin jaloin liikkuvien mittamiesten työ. Kaupunkisuunnittelussa lennokin avulla on kätevä tuottaa materiaalia pohjakartoitusta varten sekä saada nopeasti tilannekuvia alueen valmistumisasteesta. (Vanhala 2012, 64-66 ja 69) Viihdekäytön kannalta lennokilla voidaan tehdä näyttäviä mainoskuvia ja –filmejä sekä hyödyntää korkeaa perspektiiviä vaikkapa taidekuviissa. (Itä-Lapin ammattiopisto 2012, UAV-esite)

Viranomaiskäytössä lennökkikuvaus on tehokas väline tuulenkaatojen ja metsäpalovahinkojen kartoitukseen. Lennokkiin asennettava infrapunakamera paljastaa myös kasvitautien leviämisalueen huomattavasti aikaisemmin ja tarkemmin, kuin tavallinen ihmissilmä tai valokuva. Poliisioperaatioiden kannalta lennökkikuvauksen avulla saadaan nopeasti yleiskuva alueesta esimerkiksi etsintä- tai tunkeutumistoimenpiteitä varten ilman aikaa vieviä ja huomiota herättäviä järjestelyjä. Lennokki onkin omiaan nopeudessa ja edullisuudessa verrattuna pienen lentokoneen kokoiseen UAV-laitteeseen saatikka miehitettyyn lentoalukseen. Lennokkia varten ei myöskään tarvitse sulkea ilmatilaa, mikä lisää sen käyttömahdollisuuksia varsinkin pieniä operaatioita ajatellen. (Vanhala 2012, 64-66.)

3.3 Toimintaperiaatteet

Ennen kuvauslentoa tulee suorittaa huolellinen lentosuunnittelu. Suunnittelu tapahtuu hakemalla suunnitteluohjelmaan geokoodattu kartta internetin verkkopalveluita hyödyntäen. Maa-aseman kannettavaan tietokoneeseen asennetussa suunnitteluohjelmassa näkyy kuvausalueen kartta, johon voi suunnitella lennokin reittipisteet sekä kuvauslinjat. Ohjelma näyttää lennon toimintasäteen ja lentokorkeus valitaan halutun kuvantarkkuuden mukaan. Suunnitelma tehdään joustavasti lennokin toiminta-aikaan pohjautuen, sillä kuvauslennokin akkujen kesto rajaa lennon maksimissaan tunnin mittaiseksi. Suunnitteluohjelman karttaan merkitään lähtö- ja laskeutumipaikka, jonka jälkeen tehdään lentoa edeltävä rutiinitarkastus, jossa tarkastetaan maa-aseman ja lennokin välisten yhteyksien toimivuus, kameran ja ohjauksen toimivuus sekä viimeistellään lennokka kuvauskuntoon. Kaikista ennen lähtöä suoritettavista toimenpiteistä on erillinen lista, joka käydään läpi kohta kerrallaan. (Vanhala 2012, 66.)

Kun kaikki kuvauslentoa valmistelevat toimenpiteet on suoritettu, vuorossa on itse lähtölaukaus. Lähtöön vaaditaan niin sanottu alkuheitto, joka tapahtuu helpoiten ja tehokkaimmin katapultin avulla. Katapultti saa voimansa joko kiristettävien kumilenkkien, tai paineilman avustuksella. Lennokki asetetaan katapultin päällä oleville kiskoille, jonka jälkeen katapultti viritetään.

Laukaisunopeus riippuu kiristettävien kumilenkkien määrästä, tai ladatusta ilmanpaineesta. Laukaisun jälkeen lennokin moottori käynnistyy automaattisesti heti katapultista irrottuaan, jonka jälkeen automaatti ohjaa sen ohjelmoituun paikkaan odottamaan ohjauskomentoa. Lennokki kiertää aloituspistettä ympäri niin kauan, kunnes maa-asemalta annetaan ohjauskomento. Komennon jälkeen lennokki aloittaa kuvaustehtävän ohjelmoitujen reittipisteiden mukaan. (Vanhala 2012, 66.)



Kuvio 5. Lähtövalmiudessa katapultin päällä oleva C-ASTRAL Bramor-UAV – lennokki. (Nykänen 2012)

Lennättäjä näkee näytöllään koko ajan lennokin sijainnin, tuulen suunnan, akun varauksen sekä korkeuden ja nopeuden. Maa-asemalta käsin voidaan milloin tahansa lähettää komentoja lennokin autopilottiin. Komentojen avulla voidaan muokata esimerkiksi lentoreittiä, kuvanottoväliä sekä korkeutta ja nopeutta. Lennokissa on vakausjärjestelmä, joka pyrkii pitämään sen mahdollisimman suorassa horisonttiin nähden. Siitä huolimatta kova ja puuskittainen tuuli voi estää kuvauksen. Ongelmatilanteen tullen lennokki voidaan kytkeä myös manuaaliohjaukselle, jolloin lennättäjä hallitsee lennokkia radio-ohjaimen avulla. (Vanhala 2012, 66)

Lennotta kerättävä paikkatieto tallentuu joko lennokin autopilotin muistiin, -tai se välitetään radiolinkillä maa-asemalle. Paikkatiedon tuottavat lennokkiin sisäänrakennettu gps-laite, pienet IMU-kiihtyvyyssensorit (Inertial Measurement Unit) sekä pitot-putki. Sensoreissa ja varsinkin pitot-putkessa on yleensä lämmitystoiminto, sillä ne eivät saa jäätyä tai tukkeutua. Kuvien otto tapahtuu kameraan ohjelmoidun määrävälillä mukaan. Toinen vaihtoehto on ohjelmoida autopilotti laskemaan kuvanottovälit ja laukomaan kameraa. Tehtävän jälkeen lennokki palaa takaisin odotusalueelle, josta lennättäjä antaa lennokille laskeutumiskomennon. Laskeutumiselle tulee varata noin satakunta metriä pitkä, tarpeeksi avoin alue. (Vanhala 2012, 66 ja 68.)

Laskeutuminen tapahtuu aina vastatuuleen. Lennokki laskee tuulen nopeuden, jonka jälkeen se lentää tarvittavan verran määrätyn laskeutumispaikan yli, ennen kuin sammuttaa moottorinsa ja avaa laskuvarjonsa. Täten lennokki kulkeutuu tuulen mukana laskuvarjolla liidellen noin kymmenen metrin säteelle halutusta laskeutumispaikasta. Lennokissa on myös niin sanottuja fail safe-, eli vianratkaisutoimintoja, jotka kytkeytyvät päälle ongelmien tullen. Esimerkiksi jos yhteys maa-aseman ja lennokin välillä katkeaa, ohjautuu lennokki automaattisesti takaisin lähtöpaikan ylle, jonka jälkeen lennättäjä voi ottaa lennokin komentoonsa. Jos tapahtuu totaalinen romahdus, eli lennokista katkeaa jostain syystä kaikki yhteydet sekä virta, laukaisee lennokki automaattisesti laskuvarjonsa ja laskeutuu hiljalleen maahan.

3.4 Prosessointi sekä lopputuotteet

3.4.1 Prosessointi

Heti kuvauslennon jälkeen lennättäjä prosessoi yleispiirteisen kuvamosaiikin kuvausmateriaaleista. Täten varmistetaan, että halutut kuvat on varmasti kuvattu ja niiden laatu on vaatimusten tasoinen. Lopullista mittatarkkaa, suunnittelukäyttöön soveltuvaa paikkatietoa varten kuvat lähetetään eteenpäin edelleen prosessoitaviksi. Suomessa toimii vain yksi fotogrammetrisen ohjelmistotuotannon palveluihin erikoistunut yritys, PIEngineering Oy (Parallel Image Engineering), joka sijaitsee Helsingissä.

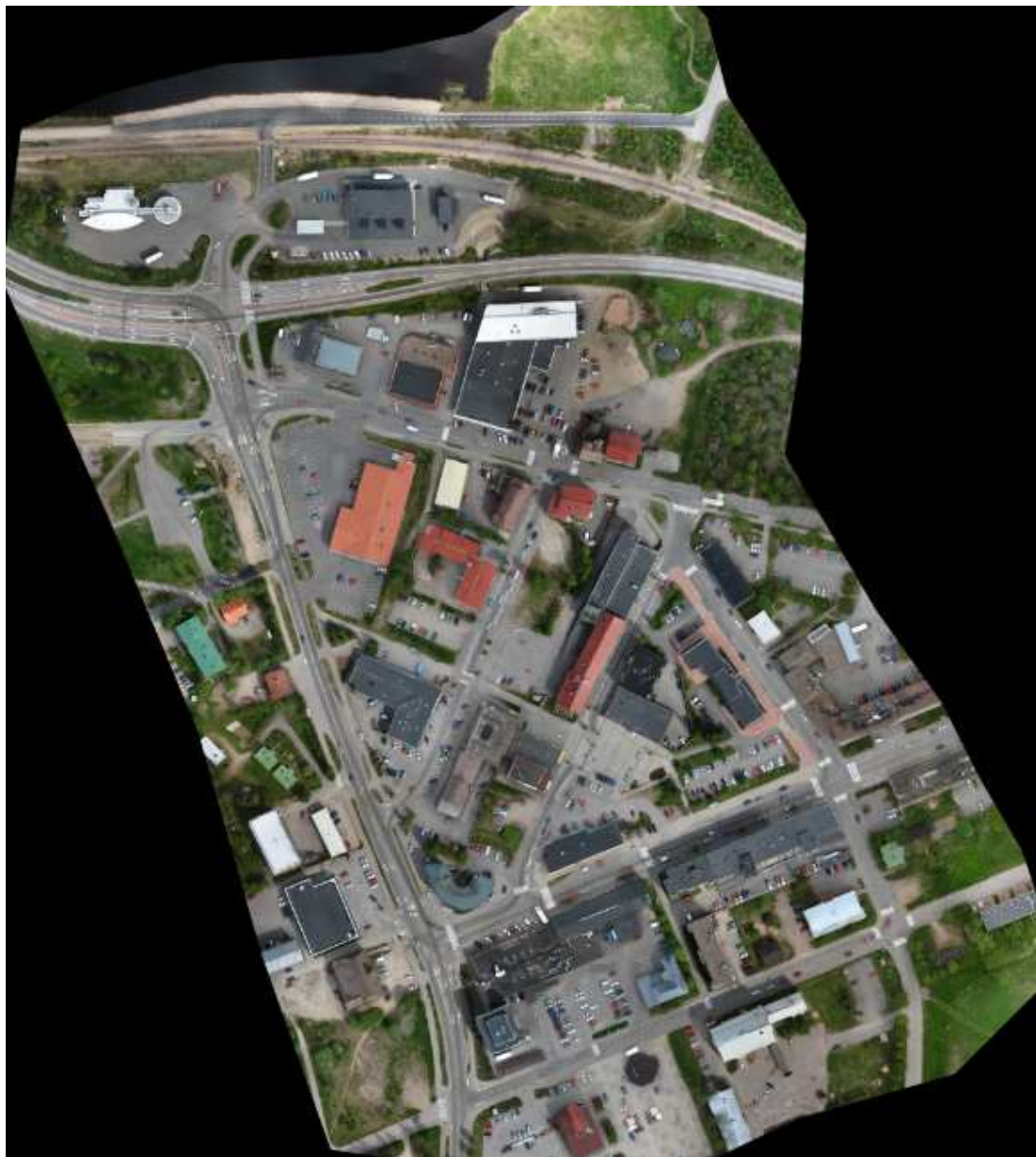
Lennokkifotogrammetria vaatii huippuunsa kehittyntä ohjelmistotekniikkaa kompensoimaan lennokkien epävakautta. Sen seurauksena yksityisillä lennättäjillä ei riitä resurssit niin suuren datamäärän prosessointiin. Tästä syystä kuvauksista saatu raakamateriaali lähetetään edellä mainittuun yritykseen prosessoitavaksi. Jopa ammattilaisilla lopputuotteen prosessointi voi kestää useita työpäiviä. (Vanhala 2012, 66 ja 67)

3.4.2 Ortokuva

Ortokuvalla tarkoitetaan karttaprojektioon oikaistua ilmakuvaa. Ortokuva on valokuva suoraan ylhäältäpäin kohdetta, jonka prosessointia varten kuvausalueelta tarvitaan korkeusmalli sekä kuvien ulkoinen orientointi tulee tuntea. Yhdeltä ilmakuvasta voidaan tuottaa vain hyvin pienialainen ortokuva, minkä vuoksi ortokuvia tulee yhdistää usean kuvan kattavaksi ortokuvamosaiikiksi. Ortokuvia yhdistettäessä syntyy sävyihin ja geometriaan liittyviä epäjatkuvuuskohtia. Korkeusmalliin liittyvät ongelmat näkyvät selvimmin ortokuvamosaiikin saumakohdissa, jotka tulee poistaa prosessoinnin yhteydessä. Ortokuvia käytetään ilmakuvapohjaisten karttojen valmistuksessa ja niiltä voidaan mitata kohteiden koordinaatteja. Ortokuvat ovatkin hyödyllinen osa kaavoituksen pohjakarttaa. (Laurila 2008, 72 ja 76-77)

Lennoilla lennetty kuvauslento tuottaa keskimäärin tuhatkunta valokuvaa. Kuvauslennolta saadut valokuvat yhdistetään toisiinsa tarpeeksi suurella päällekkäisasettelulla sekä sivuttais- että pitkittäissuunnassa. Päällekkäisyyttä tarvitaan enemmän kuin lentokoneesta tai helikopterista kuvattaessa. Tällä menetelmällä minimoidaan lopputuotteen vääristymät ja pyritään saamaan ortokuvasta mahdollisimman virheetön. Ortokuvamosaiikkia rakennettaessa digikuvista oikaistaan linssivirheet ja niiden värit tasataan. Lennokkikuvauksessa käytettävien pokkarikameroiden objektiivien suurehko geometriset piirtovirheet on mallinnettu etukäteen kameran kalibroinnin yhteydessä. Ortokuvat sidotaan koordinaatistoon maastoon merkittyjen mittapisteiden avulla. Nämä mittapisteet, eli signaalit, mitataan maastoon ennen kuvauslentoja. Valmis lopputuote toimitetaan

tilaajalle, joka voi käyttää oikeakulmaiseksi muunnettua kuvaa omiin tarkoituksiinsa suunnitteluohjelmiensa avulla. (Vanhala 2012, 67 ja 68)



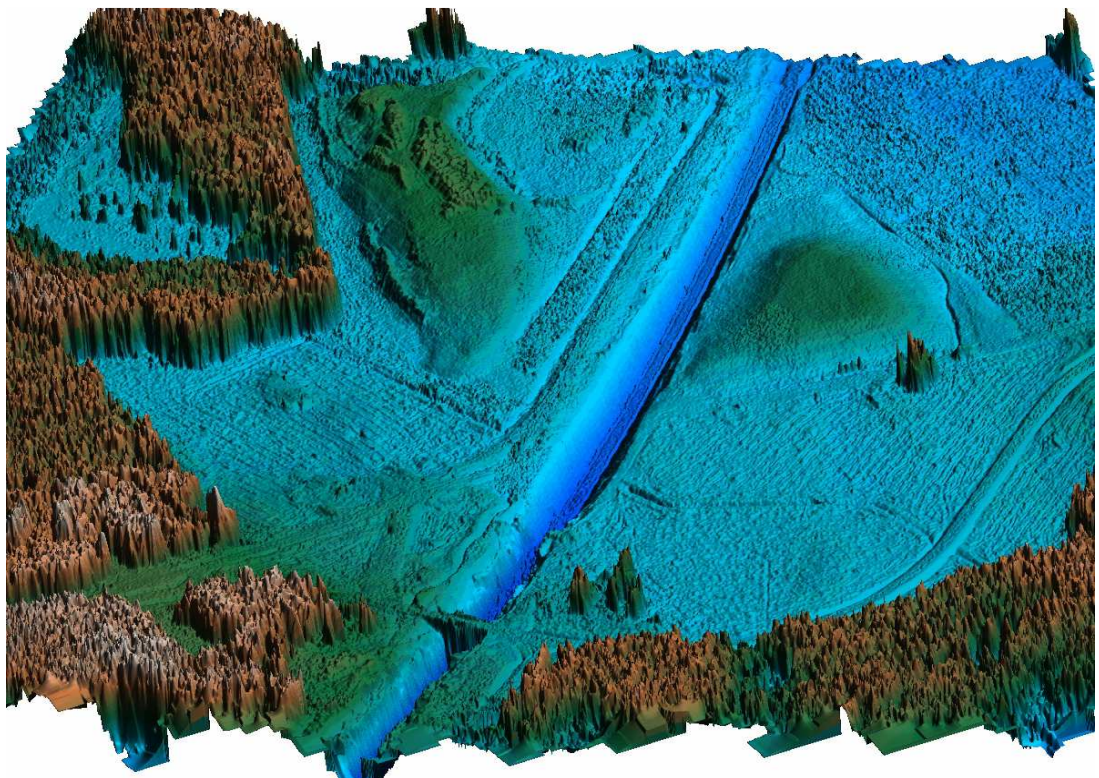
Kuvio 6. Kemijärven keskustasta UAV-lennokilla otettu ortokuva. (Nykänen 2009)

3.4.3 Digitaalinen 3D-malli

Kolmiulotteisia, miljoonien mittauspisteiden muodostamia pistepilviä ja niiden pohjalta laadittuja kolmiulotteisia maastomalleja voitiin aiemmin tehdä vain laserkeilauksella. Lennokkikuvauksista saatujen kaksiulotteisten kuvien pohjalta suoritettava kolmiulotteinen mittaus perustuu stereomallien yhdistelyyn, ilmakolmiointiin perustuvaan 3D-konenäkösovellukseen sekä tilastolliseen laskentaan. Kaikkien yhdistelmänä voidaan lopputuotteeseen

saavuttaa parhaimmillaan muutamien senttimetrien tarkkuus. Stereomallilla tarkoitetaan kahden ilmakuvan avulla luotua muodoltaan tarkkaa kohteen jäljennettä, jossa kohde havaitaan ihmissilmän tavoin kahdesta eri kohtaa. Konenäkösovelluksella tarkoitetaan kolmiulotteisen fotogrammetrian, eli valokuvilta mittauksen uusinta automaatiomenetelmää, jonka avulla digitaalisten ilmakuvien sisältämää informaatiota voi prosessoida automaattisesti. (Vanhala 2012, 67-69)

Stereokuvaan pohjautuvassa 3D-mallien laskennassa on kyse massiivisesta operaatiosta, jossa tuhansien stereomallien vaakasijaintia osoittavalle x- ja y-pisteelle lasketaan pystysijaintia mallintava z-arvo. Laskemisen jälkeen kuvat analysoidaan sekä liitetään toisiinsa ja kohdekoordinaatistoon. Kun kaikki mallin parametrit tunnetaan digitaalisen fotogrammetrian automaattisen kuvankäsittelyn, eli ilmakolmiominnin ansiosta, voidaan maanpintaa mitata ilmasta käsin. Pistepilven jokaisella xyz-sijaintipisteellä on myös digitaaliset rgb-arvonsa (=väriarvonsa, red-green-blue). Näiden väriarvojen ansiosta korkeusvaihtelu erottuu ja täten maaston visuaalinen kuva muodostuu kolmiulotteisesti. (Vanhala 2012, 68 ja 69)



Kuvio 7. Fotogrammetrisin keinoin tuotettu 3D-korkeusmalli. Kuvassa korkeuserot hahmottuvat eri värein. (Nykänen 2012)

3.4.4 Liikkuva kuva

UAV-lennokkiin voidaan asentaa myös liikkuvaa kuvaa tallentava kamera. Lennokin kuvatessa kuvamateriaali on nähtävissä maa-aseman kannettavasta tietokoneesta. Liikkuva kuva on kätevä apu esimerkiksi viranomaistoiminnan tiedonkeruun täydentämiseksi. Lennokin voi ohjelmoida kiertämään jotain maanpinnalla olevaa kohdetta klikkaamalla maa-asemalla näkyvää kuvaa halutusta kohdasta. Lennokki voi myös lähettää liikkuvaa kuvaa seuraten jotain tiettyä kohdetta esimerkiksi autoa. Poliisi- ja pelastusviranomaiset ovatkin testanneet menetelmää takaa-ajon tueksi, tiedustelutarkoituksiin sekä kadonneen henkilön etsintöihin. Etsintätarkoituksiin liikkuvan kuvan kuvatarkkuus ei vielä kovin hyvin sovellu, sillä tietokoneen ruudusta on hyvin vaikea hahmottaa luonnossa olevaa muutaman pikselin kokoista ihmishahmoa tunnistettavasti. Kehitteillä on koko ajan parempia ja parempia lennokkeihin suunniteltuja tallentimia, jotka pystyvät entistä laadukkaimpiin kuvatarkkuuksiin. Onkin arveltu, että lähitulevaisuudessa UAV-lennokit tekevät läpimurron pelastusviranomaisten toiminnan tukena.

Liikkuvaa kuvaa voidaan hyödyntää myös mainosvideoita tehdessä. Lennokki saadaan nopeasti ilmaan ja täten voidaan kuvata näyttävä videopätkä lintuperspektiivistä käsin. UAV-lennokin avulla onkin kätevä tehdä pieni esittelyvideo esimerkiksi suuriin yleisötapahtumiin markkinoinnin tueksi. Liikkuva kuva ei vaadi sen kummempaa prosessointia ja on siksi kaikista nopeimmin saatavissa oleva lopputuote.

4 LENNOKKIKUVAUS KEMIJÄRVELLÄ

4.1 UAS-projekti

Kemijärven kaupunki on perustanut UAS-projektin, johon on hankittu rahoitusta EAKR- ja ESR-rahastoista. Kyseessä on siis Euroopan aluekehitysrahaston sekä Euroopan sosiaalirahaston avittama projekti, jonka rahoitus jatkuu vuoden 2013 loppuun saakka. EU-rahoitusta on hankkeelle saatu noin 800 000€ edestä. Rahoittavina viranomaisina on toiminut Lapin ELY-keskus sekä Lapin liitto. (Kemijärven kaupunki 2013.) Projektin aikana on tarkoitus rakentaa UAS-operaattoreille sekä hankitun tiedon loppukäyttäjille koulutusjärjestelmät. Projektiin kuuluu myös tietouden jakaminen UAS-laitteiden käyttösovelluksista sekä osallistuminen erilaisiin UAS-laitteilla tehtäviin tutkimushankkeisiin. Koska UAS-toiminnan lainsäädäntö on vielä hieman epämääräistä, pyrkii projekti tukemaan sen kehittämistä Suomessa kaiken muun toiminnan ohella. Projektin tarkoituksena on myös kerätä ja välittää UAS-tietoa maailmalta. Projektissa on jatkuvasti palkattuna kolme henkeä ja projektipäällikkönä toimii Jari Nykänen. (Itä-Lapin Ammattiopisto 2012)

4.2 Kuvauksen taustat

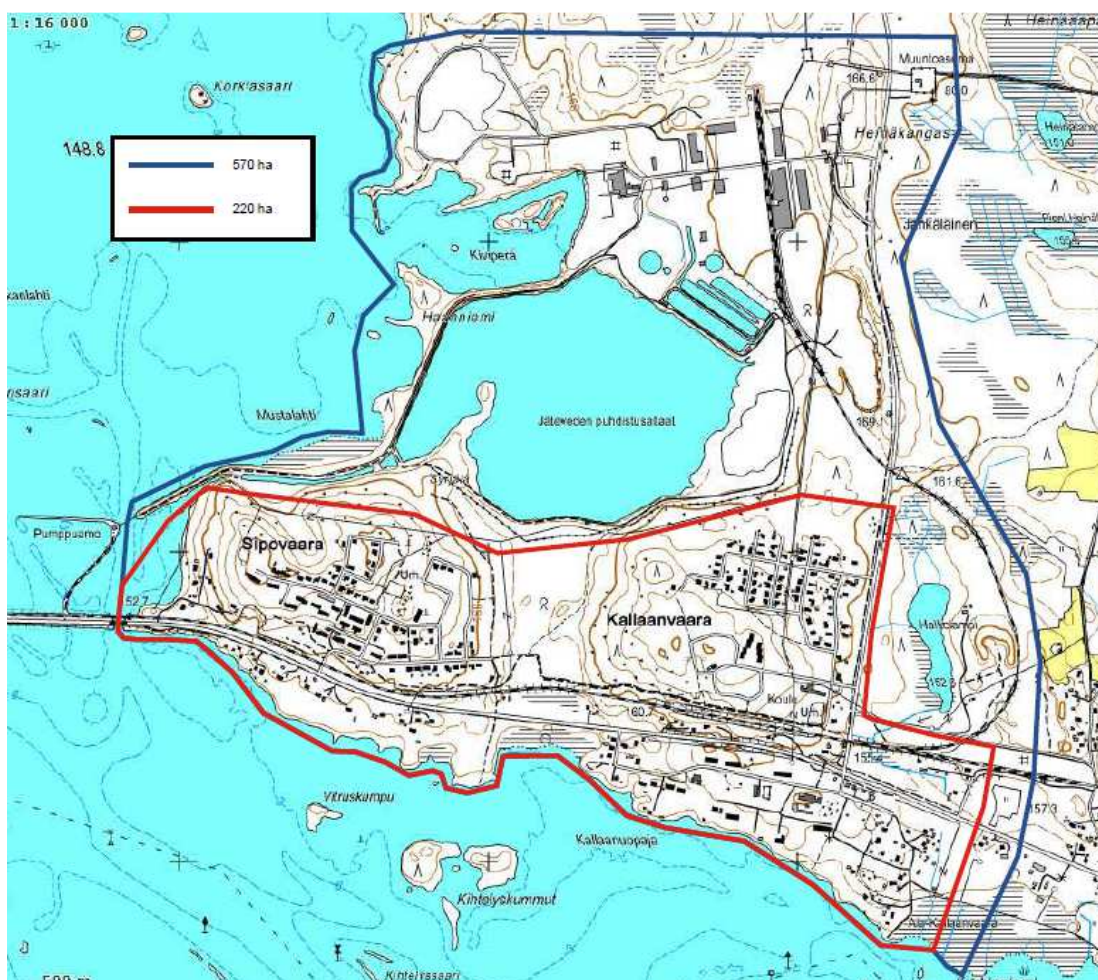
Kemijärven kaupungin Sipovaaran ja Kallaanvaaran kaupunginosien alueille on suunnitteilla kaavoituksen täydennystä, jonka avuksi kaupungin tekninen osasto halusi suorittaa alueelta ilmakuvaukset. Alue ei ole kuitenkaan kovin suuri, joten ilmakuvausten suorittaminen niin sanotusti perinteisin keinoin olisi ollut varsin epäkäytännöllistä sekä taloudellisesti epäkannattavaa. Niinpä pienehkölle alueelle omiaan oleva lennökkikuvaus oli kaikista parhain vaihtoehto ja tekninen osasto tilasi Itä-Lapin ammattiopiston porukalta alueen lennökkikuvaukset.

Projektista oli hyötyä molemmille, sillä samaan aikaan käynnissä olevan UAS-projektin johdosta Itä-Lapin ammattiopisto tarjoutui tekemään kuvauslennot Kemijärven kaupungille veloituksetta. Ainoastaan kuvien prosessointi oli Kemijärven kaupungin itse kustannettava. Samalla kuvaukset olivat UAS-projektin vetäjille tutkimushanke, jonka myötä he saivat testattua

laitteistonsa soveltuvuutta kaavoituksen ja ilmakuvakarttojen teon kannalta. UAS-projekti sai myös samalla näkyvyyttä mahdollisia uusia asiakkaitaan varten.

4.3 Kuvausalueen esittely

Kuvausalueena oli Kemijärven keskustan itäpuolella sijaitsevat Sipovaaran ja Kallaanvaaran asuinalueet sekä niiden välittömässä läheisyydessä oleva vanha sellutehdasalue. Kuvausalue piti sisällään asuttua omakotitaloaluetta, teollisuusaluetta sekä luonnontilassa olevaa metsä- ja peltoaluetta, joten yksityiskohtia ja vaihtelevuutta maastossa riitti. Aluksi suunnitelmissa oli kuvata vain Sipovaaran ja Kallaanvaaran asuinalueet, joiden pinta-ala oli noin 220 hehtaaria, mutta myöhemmin myös vanhan sellutehtaan alue tuli suunnitelmiin mukaan ja kuvausalue kasvoi 570 hehtaarin kokoiseksi.



Kuvio 8. Kuvausalue. Kuvassa punaisella alkuperäinen kuvausalue, sekä sinisellä laajennettu lopullinen kuvausalue. (Kemijärven kaupunki 2012)

5 KUVAUKSISSA KÄYTETTY KALUSTO

5.1 Lennokki ja lisävarusteet

Kuvauksissa käytettiin kiinteäsiipistä slovenialaisvalmisteista C-Austral Bramor gEO-lennokkia. Lennokin siipiväli oli 230 cm ja sen maksimipaino lentoon lähdettäessä oli 4 kg. Lennokki sisälsi autopilotin, oman GPS-antennin, pitot-putken sekä erilaisia sensoreita muun muassa lentovakauden hallitsemiseksi. Lennokki sai voimansa kahdesta litiumakusta, joiden varausten ansiosta maksimi lentoaika oli jopa yli tunnin. Siitä huolimatta lennokin akkujen varausta ei saanut kuluttaa nolville, sillä muuten vaarana oli tallennettujen tietojen katoaminen ja lennokin vahingoittuminen. Tuulen vaikutukset on pyritty minimoimaan lennokin muotoilussa ja täten lennokki pystyy operoimaan hieman kovemmassakin tuulessa. Lennokkiin oli tehty hieman omia modifikaatioita kuten elektroniikan liitosten vahvisteluja, kamerakotelon korjauksia ja potkurin mekaniikan paranteluja. Myös laskuvarjon laukeamiseen oli tehty paranteluja, sillä laskuvarjokotelon kansi ei ollut aina auennut halutusti. Siipien kärkiin oli asennettu LED-valot, jotta näkyvyys parantuisi hämärän yllättäessä.

Lähtövauhdin lennokille antoi tarkoituksenmukainen kolme metriä pitkä, alumiinista ja raudasta valmistettu katapultti. Katapultti toimi paineilmalla, jota säätämällä saavutettiin jopa 30 m/s lähtövauhti. Katapultissa laukaisukulmaa voitiin säätää halutuksi ja sen avulla pystyi laukaisemaan tarvittaessa jopa 20 kg painoisia laitteita. Kompressorin avulla katapultti voitiin ladata haluttuun ilmanpaineeseen, jonka jälkeen laukaisu tapahtui turvallisesti kauko-ohjaimen avulla.



Kuvio 9. Kompressori lataa katapulttiin halutun ilmanpaineen. (C-ASTRAL 2013)

Lennot ja varusteet kuljetettiin kuvauspaikalle tilavalla erikoisvalmisteisella pakettiautolla, josta oli saatavilla tarvittaessa lisävirtaa. Lennot, katapultti ja maa-aseman varusteet olivat kuljetuskunnossa pakattuina kahteen melko kookkaaseen kuljetuslaatikkoon, jotka mahtuivat hyvin pakettiauton takakonttiin. Maa-aseman varusteisiin kuuluivat pieni pöytä, kannettava tietokone, lisäkantavuutta tuova korkea antenni sekä ilmailuradio. Saavuttaessa kuvauspaikalle lennot ja maa-asema olivat käyttövalmiina alle kymmenessä minuutissa.

5.2 Kamera

Kamerana kuvauksissa käytettiin kevyttä, alle 400g painoista Olympus E-420 järjestelmäkameraa. Kameran resoluutio on 10 megapikseliä, mikä oli riittävä tarkkuus hyvälaatuiseen kuvaan. Kamera ohjelmoitiin ottamaan kuvia 1,3 sekunnin välein. Kun lennot eteni keskimäärin 16 m/s nopeudella ja lentokorkeus oli 150 metriä maanpinnan yläpuolella, kameran kuvanottoväli oli noin 20,8 metriä. Yhdeltä lennolta kuvia kertyi jopa tuhansia, joten kamerassa käytettiin suurikokoista lisämuistikorttia.

Lennokkiin voitiin myös tarvittaessa asentaa videokuvaa kuvaava kevyt, hiilikuiturunkoinen Gimbal-kamera. Gimbal-kameralla tarkoitetaan pyörivää ”kimpaletta”, jossa kameran linssiä voi ohjata maa-asemalta käsin. Kamera lähetti reaaliaikaista kuvaa maa-asemalle ja se voitiin ohjelmoida kuvaamaan haluttua kohdetta ruudun painalluksella. Gimbalilla pystyttiin kuvaamaan myös lämpökamerakuvaa sekä yöllä että päivällä.



Kuvio 10. Lennokin kamera-aukkoon asennettu pyörivä Gimbal-videokamera. (C-ASTRAL 2013)

6 KUVAUSPROSESSI

6.1 Kuvausten suunnittelu

Kuvausten suunnittelun teki Itä-Lapin ammattiopiston UAS-projektin henkilöt. Kemijärven kaupunki toimitti lennättäjille kuvattavan alueen kartan, jonka pohjalta suunnitelma saatiin tehtyä. Kuvattava alue oli sen verran laaja, että kuvauskertoja täytyi suorittaa useita. Jokaiselle kuvauskerralle tehtiin suunnitteluohjelmalla erillinen suunnitelma, joka syötettiin lennokin autopilottiin ennen kuvausten aloittamista. Kuvaussuunnitelmassa näkyi lähtö- ja laskeutumispisteet, lennokin kuvauslinjat sekä vaadittavat tekniset ominaisuudet.

Suunnitelmassa ensisijaista oli valita sopiva laukaisupaikka. Laukaisupaikaksi tuli valita tarpeeksi avara ja näkymältään kantava kohde. Ihanteellisin laukaisualusta oli jokin avara pelto tai kenttä, josta oli hyvät näkymät horisonttiin. Alue ei saanut olla liian kivikkoinen tai kova, sillä laskeutuminen tapahtuisi myös samalle alueelle. Tällä pyrittiin ennaltaehkäisemään laskeutumisesta mahdollisesti aiheutuvia materiaalisia vahinkoja. Puiden latvat ja sähkölinjat oli syytä pitää mahdollisimman etäällä, sillä laskeutuessaan lennokka saattaa tuulenpuuskien vaikutuksesta tömähtää hieman suunnitellun paikan sivuun.

Myös kulkuyhteys autolla oli suotavaa, jotta välttyttäisiin painavien laatikoiden turhan pitkiltä kanniskeluilta. Tällaisia paikkoja kuvattavalta alueelta löytyi tarvittava määrä. Tarvittaessa myös lennokin maa-aseman pystyi asentamaan tilaustyönä muunneltuun pakettiautoon, jossa oli asennettuna lisävarusteet maa-aseman ylläpitoa varten. Kirkkaalla auringonpaisteella kannettavan tietokoneen ruudulla näkyvää informaatiota oli helpompi seurata pakettiauton takatilaan rakennetussa suojaisassa ”toimistossa”.

6.2 Toimenpiteet maastossa

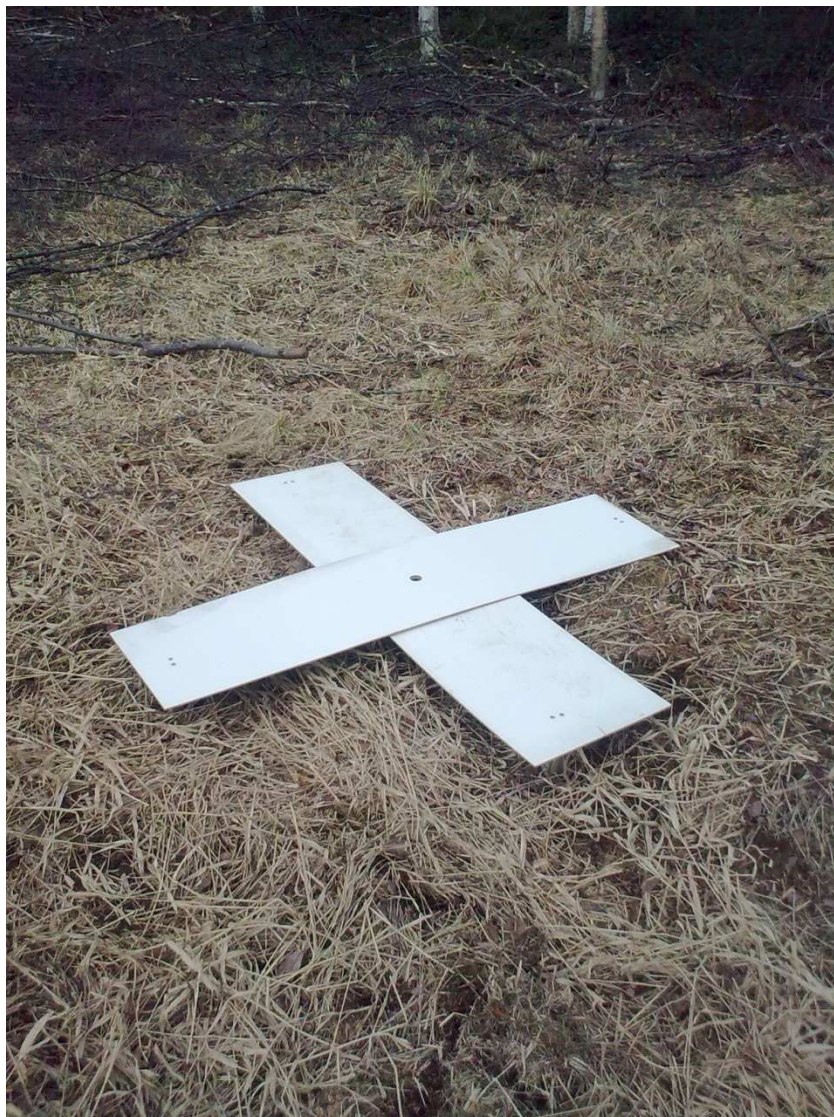
Kemijärven kaupungin vastuuna oli kuvauksia valmistelevien toimenpiteiden teko maastossa. Sain tehtäväkseni kartoittaa reilun määrän rajapyykkeitä ympäri kuvattavaa aluetta, sekä asettamaan kuvausalueelle signaaleja.

Rajapyykkejä kartoitin satoja, sillä mittausaineistoa tultiin käyttämään hyödyksi myös tulevan koordinaattijärjestelmän vaihdon yhteydessä. Kartoituslaitteena käytin Trimblen R8 GNSS-vastaanotinta sekä tähän sopivaa tallenninta. Signaalintisuunnitelma tehtiin yhdessä kaupungin mittausteknikon kanssa, jossa selvisi signaalien lopullinen sijoittelu. Signaaleja oli kaiken kaikkiaan yhdeksän kappaletta, jotka sijaitsivat mahdollisimman avaralla ja vähäkulkuisella paikalla niiden säilyvyyden vuoksi.



Kuvio 11. Signaalien sijainti kuvausalueella. (Kemijärven kaupunki 2012)

Signaalilevyjä varten hain tarvittavaa materiaalia Kemijärven teknisen viraston varikolta. Signaalilevyt olivat noin 1,3 metriä pitkiä valkoisia vanerinpätkiä. Lisäksi sahasin puutavarasta 30 senttimetrin pituisia paaluja, jotka tulivat signaalirakennelman perustaksi. Paaluja tuli olla neljä kappaletta yhtä signaalia kohden. Signaalit rakennettiin naulaamalla maahan lyötyjen paalujen päälle kaksi signaalilevyä ristiin mahdollisimman symmetrisesti. Puupaalut tuli lyödä tarpeeksi syvälle maahan, jotta signaalirakennelmasta tulisi tukeva. Kun rakennelma oli valmis, mittasin signaalin keskipisteen tarkat koordinaatit kolme kertaa. Mittauslaite tuli alustaa uudelleen jokaisen mittauskerran välissä, jotta koordinaatit saataisiin mahdollisimman tarkasti.



Kuvio 12. Kuvausalueen maastoon rakennettu signaali numero 3. Levyt ovat reilun metrin pituisia. (Tekijän kuva)

6.3 Kuvausten toteutus

Ensimmäiset kuvaukset toteutettiin heinäkuussa 2012. Aamulla varhain kuvauskampeet pakattiin autoon ja siirryttiin lennätyspaikalle, jonne saavuttiin noin yhdeksän aikaan. Maa-asema ja katapultti pystytettiin hieman syrjäiselle, yksityisen henkilön omistamalle pellolle, johon oli kysytty lupa. Pelto oli tarpeeksi avara ja esteetön paikka, josta kiikareilla tähystettäessä näki lennokin kauas horisonttiin asti. Sää oli aurinkoinen ja tuuli oli sopivan heikkoa. Maa-aseman pystytyksen jälkeen tehtiin lentoonlähdön rutiinitarkastus, jolla varmistettiin kaikkien asioiden toimivuus ja lentovalmius. Katapultti ladattiin kompressorilla, jonka jälkeen laukaus tapahtui ja lennokka lähti nousemaan ongelmitta odotuspisteeseen. Maa-asemalta käsin

komennettiin lennokka suunnitellulle kuvauslinjalle ja näin lennokka lähti siintämään kohti ensimmäistä kuvauslinjaa.

Lennokka kampsii pitkittäislinjoissa 22 metrin välein noin 600 metrin levyistä aluetta. Pituus- ja sivupeitto kuvauksissa olivat 80 %. Lentokorkeus oli keskimäärin 150 metriä maanpinnan yläpuolella ja lentonopeus oli 16 m/s, johon tuuli hieman vaikutti. Noin 45 minuutin jälkeen lennokka oli edennyt kaikki kuvauslinjat läpi ja palasi lähtöpaikan ylle odottamaan laskeutumiskomentoa. Komento annettiin ja lennokka lensi vastatuuleen maa-aseman yli ja sammutti moottorinsa ja laskuvarjo räjähti auki.

Lennon jälkeen materiaali kopioitiin kamerasta kovalevyille ja tarkastettiin pikaisesti, jonka jälkeen kuvaus todettiin onnistuneeksi. Maa-asema purettiin, tavarat pakattiin kuljetuskuntoon ja siirryttiin seuraavalle kuvauspaikalle. Olin seuraamassa vain ensimmäistä lennätystä, sillä muiden töiden vuoksi en ehtinyt useampaa seuraamaan. Viimeiset lennätykset alueella tehtiin vasta syyskuun puolella, sillä lennokkia lennättävällä Itä-Lapin ammattiopiston porukalla oli kalenterissa paljon muitakin kiireitä kesäkuukausien aikana. Kaikkien kuvauslentojen valmistuttua ilmakuvat lähetettiin Kemijärven kaupungille, joka lähetti materiaalin prosessoitavaksi ortokuvaa varten PIEngeering Oy:lle.

6.4 Ilmenneet ongelmat ja niiden ratkaisut

Kuvauksissa ilmeni joitain ongelmia kuvausprosessin eri vaiheissa. Ensimmäiset ongelmat koski alueen signalointia. Signalointisuunnitelma ja itse signalointi oli valmiina jo hyvissä ajoin toukokuun loppuun mennessä, koska kuvausten piti alkaa heti kesäkuussa. Suunnitelmista poiketen kuvausten aloitus venyi ja venyi, joten signaalit alkoivat peittyä kasvillisuudesta. Kasvillisuus oli enimmäkseen pelloilla kasvavaa pitkää ruohoa, joka ehti kasvaa kesäkuun aikana hyvinkin reheväksi ennen ensimmäisiä kuvauksia. Ratkaisuna signaalien ympäristö piti raivata pariinkin otteeseen, jotta ne näkyisivät täydellisesti kuvausajankohdan koittaessa.

Kuvauspäivänä ilmeni myös pieniä ongelmia. Aluksi lennokin datalinkki ei meinannut ottaa yhteyttä maa-asemaan, joka huomattiin lentoonlähdön tarkastuksessa. Pienen säädön jälkeen yhteys kuitenkin alkoi toimia ja voitiin jatkaa kohti laukaisua. Projektin lennättäjien mukaan myös laukaisun jälkeisessä potkurin automaattisessa käynnistymisessä oli ilmennyt aikaisemmin ongelmia, minkä vuoksi lennokka ei ollut lähtenyt eräällä lennätyskerralla ilmaan ollenkaan. Ongelmaa oli korjattu käynnistysviivettä säätelämällä, mutta laukaisun koittaessa viive meinasi olla vieläkin liian pitkä, sillä näytti että potkuri ei taaskaan käynnisty ajoissa. Onneksi tästä selvittiin vain säikähdyksellä, sillä lopulta potkuri käynnistyi ja lennokka lähti keräämään korkeutta.

Laskeutumistilanteessa kaikki näytti menevän hyvin, kunnes laskuvarjon auettua yllättävä tuulenpuuska alkoi viedä laskeutuvaa lennokkia pois peltoalueelta. Lennokka leijui epäonnekseen kohti soratien varrella olevaa vanhaa sähkö- /puhelinkaapelia sekä kohti asuttua rakennusta. Onneksi lennokka ei kuitenkaan ehtinyt aivan rakennukselle saakka, vaan mätkähti keskelle kyseisen tontin liittymää ilman, että takertui puuhun tai kaapeleihin. Toinen lennättäjästä lähti juoksemalla hakemaan lennokkia, jonka jälkeen todettiin että vahinkoja ei laitteelle tai ympäristölle sattunut.

7 LOPPUTULOKSET

Lennokkikuvausten tuloksien valmistumisessa meni yllättävän kauan. Kuvat lähetettiin prosessoitavaksi syyskuun aikana 2012 ja vasta huhtikuussa 2013 PIEngeeringiltä ilmoitettiin, että lopullinen versio ortokuvasta on valmis ja viimein prosessoitu ortokuva lähetettiin takaisin Kemijärven kaupungille. Lennätyksiä suoritettiin yhteensä yhdeksän kappaletta ja kuvia jokaiselta lennolta kertyi noin 1500–2500 kappaletta.

Lopputulokset olivat Kemijärven mittausteknikko Tapio Sipovaaran mukaan riittävän hyviä kaavakartan pohjaksi. Geometria kuvissa oli jopa yllättävän onnistunut, jos ottaa huomioon kuvauskaluston keveyden. Kuvauksissa päästiin 10 senttimetrin pikselitarkkuuteen ja signaalien mittaukset oli suoritettu hyvin tarkasti, sillä ne osuivat paikoilleen erinomaisesti. Sipovaaran mukaan prosessi oli erittäin hyödyllinen siihen nähden, että kuluja Kemijärven kaupungille ei tullut kuin kuvien prosessointivaiheessa, josta sai pulittaa 7000 euroa. Kaikki lennätykset olivat siis ilmaisia johtuen Itä-Lapin ammattiopiston lennättäjien kaluston testauksesta.

Korkeuskäyrät kaavakarttaan otettiin Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistosta, jotka liitettiin täydentämään lopullista kuvaa. Sipovaaran mukaan lopputuote korvasi vanhan, epätarkaksi käyneen kartan oikein hyvin. Ongelmaksi hän mainitsi ainoastaan sen, että sää ei ollut yhtäläinen jokaisella lennätyskerralla, minkä vuoksi lopulliseen ortokuvaan syntyi paljon erilaisia himmeämpiä varjokohtia. Tämä johtui siitä, että sää oli ollut jonain päivänä hieman pilvisempi kuin muina päivinä. Puiden ja rakennusten varjot olivat myös häiritsevän pitkiä joissain kuvan kohdissa. Lopputuloksista esimerkkejä löytyy työn liitteissä.

PIEngeeringin Oy:n mukaan prosessoinnissa oli ilmennyt ongelmia juurikin samaisten seikkojen vuoksi. Prosessoinnissa käytetty tietokoneohjelma ei ollut aina tunnistanut automaattisesti kuvien oikeaa asettelua, eli kyennyt laittamaan niin sanotusti palapelin paloja oikeille paikoilleen. Tämän vuoksi paljon jouduttiin tekemään myös manuaalisesti, mikä selitti prosessoinnissa vierähtäneen yllättävän pitkän ajan.

8 YHTEENVETO

8.1 UAV-lennokki kaavakartan apuna

Opinnäytetyön alussa kerroin, että tarkoitus olisi tutkia UAV-lennokin avulla otettujen ortokuvien soveltuvuutta kaavoituksen pohjaksi. Tämän lisäksi halusin vertailla käytettyä ilmakuvausmenetelmää muihin ilmakuvausmenetelmiin yleisesti ottaen.

Opinnäytetyöprosessin aikana selvisi, että niin sanotulla kevyen kaluston ilmakuvauksella voidaan saavuttaa tarvittava tarkkuus kaavakartan tueksi. Lennätyksissä tulee vain huomioida, että jos joudutaan lennättämään useampana kuin yhtenä päivänä, niin sääolosuhteet tulee olla mahdollisimman tarkkaan samat jokaisena ajankohtana. Suotavaa on myös, että kasvien ja puiden lehdet eivät kerkeäsi kasvamaan liiaksi eikä auringon asento vaikuttaisi liikaa varjojen pituuteen. Vaikka lennokeissa on jo hyvin kehittyneet lennonvakautusjärjestelmät ja useiden eri valmistajien mukaan niillä pystyy tuottamaan laadukasta materiaalia jopa hieman kovemmassakin tulessa, niin silti heikko tuuli on erittäin vakavasti otettava kriteeri lennätysajankohtina. Lennokki heilui paikoin sen verran paljon, että prosessoinnissa epäjatkuuskohdat olivat työläitä välttää. Oikein tehtynä, huolellisella suunnittelulla sekä ammattimaisella huipputeknisellä prosessoinnilla lopputuloksista saadaan erinomaiset ja niitä voidaan hyödyntää esimerkiksi ortokuvan muodossa kaavakartan, tai minkä tahansa kartan pohjana erinomaisesti.

UAV-lennokki on omiaan tällaisissa pienen alueen kuvausprosesseissa. Lennokki ja tarvittava kalusto ovat nopeasti käyttövalmiina ja lennätyksistä voi saada lopputulosta jo samana päivänä, kun lennätys on saatu valmiiksi. Vertailtaessa perinteisesti käytettävään, miehitettyyn ilmakuvaukseen, UAV-lennokkikuvaus on aikaansa edellä. Kustannukset ovat häikäisevän pieniä, sillä tavanomainen lennätyskeikka kustantaa vain lennättäjien vaatiman palkan ja kaluston käyttökorvausten verran, joka jää alle tuhanteen euroon päivältä. Perinteinen järeällä kalustolla tehtävä ilmakuvauus on tietenkin vakaampaa ja tarkempaa, mutta kustannukset ovat kymmenissä tuhansissa.

Lisäksi nopeaa lopputulosta halutessa perinteinen ilmakekus ei pysty sitä tarjoamaan. UAV-laitteet eivät tule koskaan korvaamaan tavallista ilmakekusta, mutta laajojen käyttömahdollisuuksiensa ansiosta ne taatusti tulevat täydentämään ilmakekusmahdollisuuksia esimerkiksi vaikeasti saavutettavien paikkojen kuvauksessa turvallisesti ja resursseja säästän.

8.2 Tulevaisuuden näkymät

Tarkoituksena oli myös pohtia kevytrakenteisten UAV-lennokkien tulevaisuutta ilmakekuvauksen kannalta. Kyseisiä laitteita tullaan käyttämään tulevaisuudessa entistä enemmän tekniikan kehittyessä päivä päivältä. Niiden helppous ja nopeus yhdistettynä hyvään kuvanlaatuun ovat sellaisia asioita, jotka kiehtovat niin harraste- kuin ammattilentäjiäkin tulevaisuudessa.

UAV-lennokilla tehtävien ilmakekusten käyttömahdollisuudet riippuvat loppujen lopuksi vain siitä, että kuinka raskasta kuormaa lennokka voi toimintakunnossa kantatella. Mitä suuremmat nämä arvot ovat, niin sitä parempaa kuvauskalustoa pystytään lennättämään ja niin edelleen myös lopputuotteet muuttuvat monipuolisimmiksi ja niiden laatu paranee. Tietenkin asiaa voi ajatella myös siltä kannalta, että tekniikan kehittyessä kuvauskamerat pienenevät siihen malliin, että huippuluokan ilmakekuvaukseen tarkoitettu kamera voidaan sijoittaa painonsa puolesta kiinteäsiipisen lennokin kyytiin. On jo olemassa helikopterityyppisiä UAV-lennokkeja, jotka pystyvät kymmenien kilojen kuormiin, mutta mielestäni ne eivät ole yhtä käteviä maastossa, sillä tämäntyyppiset laitteet ovat paljon raskaampia kuljettaa ja asentaa, kuin kiinteäsiipinen kuvauslennokka. Lisäksi helikopterityypin laite vaatii paljon turvallisemman lennätysalueen niiden oman painonsa vuoksi.

Tulevaisuudennäkymät UAV-lennokille on niiden kantokyvyn parantuessa ja prosessoinnin kehittyessä erinomaiset. Lisää lennokkia lennättäviä yrityksiä tulee ajan myötä lisää ja Itä-Lapin ammattiopiston UAS-projektin poikiessa tulosta myös alalle liittyvää koulutusta olisi tarjolla riittävästi. Ainoana kulmakivenä on toistaiseksi ollut toimintaan liittyvä lainsäädäntö aikaa vievine luvanhakuprosesseineen varsinkin, jos halutaan lennättää yli 150 metrissä ja

näköpiirin kantamattomissa, jolloin ilmatila on varattava viikkoja etukäteen. Tähän asti kaikki UAV-laitteiden lennättämiseen liittyvät ohjeistukset ovat olleet vain kansainvälisiä säädöksiä. Siispä alan harrastajat ja varsinkin ammattikäyttäjät toivovat tähän muutosta ja haluaisivat Suomen ilmailulakiin maininnan myös UAV-laitteiden lennättämisestä, jonka myötä laitteita ja niiden sovelluskäyttöä ilmakehän kannalta alettaisiin kehittää entistä enemmän.

LÄHTEET

- Haggrén, H. 2011. 200 Vuotta fotogrammetrian ja kaukokartoituksen historiaa. Julkaisu 3/2001. Osoitteessa http://foto.hut.fi/seura/julkaisut/pjf/pjf_e/2011/PJF2011_3_Haggrén.pdf (27.2.2013).
- Haggrén, H. 2003. Luento 8/2003: Ilmakuvaus. Osoitteessa http://foto.hut.fi/opetus/300/luennot/8/L8_print2004.pdf (15.3.2013).
- Hyypä, H. – Hyypä, J. 2003. Maanmittaustieteiden seuran julkaisu 40. Maanmittaustieteiden päivät 2003. Laserkeilauksen laatu ja sen osatekijät. Osoitteessa <http://mts.fgi.fi/paivat/2003/paperit/hyypa.pdf> (8.3.2013).
- Itä-Lapin ammattiopisto. Esite aiheesta UAV - miehittämätön lentolaite.
- Kemijärven kaupunki 2013. Miehittämättömien alusten koulutus-, tutkimus- ja kehittämishanke. Osoitteessa <http://www.kemijarvi.fi/ilo/hankkeet/uas> (17.4.2013).
- Kostamo, M. 2013. UAV-kartoitusjärjestelmän hyödyntäminen maastotiedon keräämisessä. Materiaalia Geotrimin käyttäjäpäiviltä 30.–31.1.2013.
- Laurila, P. 2008. Kaukokartoituksen perusteet – oppimateriaali. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.
- Laurila, P. 2011a. Kaukokartoituksen perusteita – Power Point-oppimateriaali. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.
- 2011b. Ilmakuvausten suunnittelu – Power Point-oppimateriaali. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.
- Maanmittauslaitos 2003. Kaavoitusmittausohjeet.
- Rönholm, P. – Haggrén, H. 2004. Fotogrammetrian yleiskurssi. Luento 10/2004: Optinen 3D-mittaus ja laserkeilaus. Osoitteessa http://foto.hut.fi/opetus/301/luennot/10/10_pr2004.html (8.3.2013).
- Suomen ilmailulaki 22.12.2009. Osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2009/20091194> (25.3.2013).
- Vanhala, P. 2012. Ilmakuvauksen kevyt versio. Lehtiartikkeli. Tekniikan Maailma 08/2012, 64-69

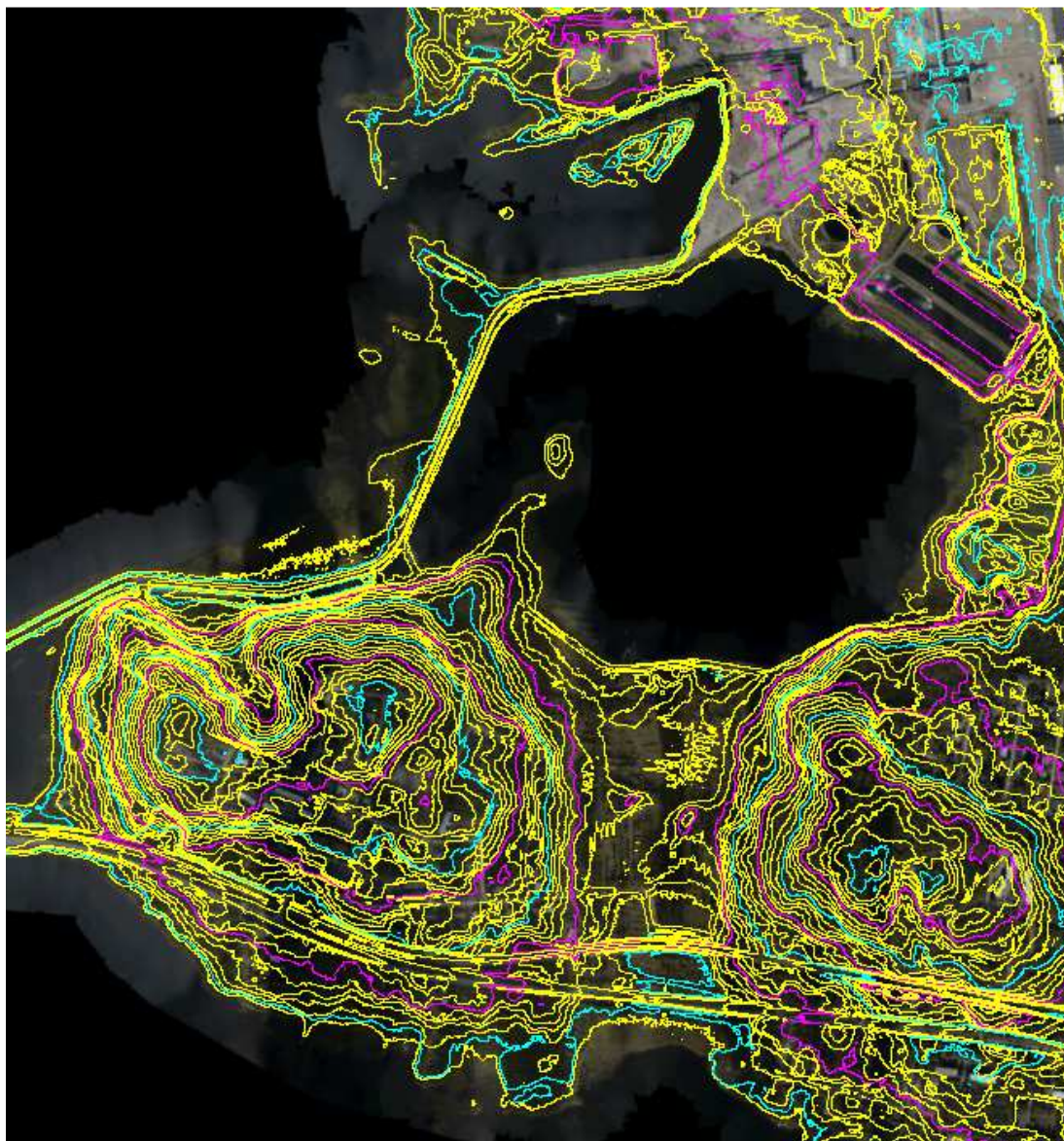
LIITTEET

LIITE 1. LENNOKKIKUVAUKSELLA TUOTETTU LOPULLINEN ORTOKUVA KOKONAISUUDESSAAN.	38
LIITE 2. MAANMITTAUSLAITOKSEN LASERKEILAUSAINOSTA SAADUT KORKEUSKÄYRÄT YHDISTETTYNÄ ORTOKUVAAN.....	39
LIITE 3. ORTOKUVA TARKENNETTUNA KALLAANVAARAN KAAVA-ALUEEN YLLE.	40
LIITE 4. ORTOKUVA TARKENNETTUNA VANHAN SELLUTEHDASALUEEN YLLE.	41
LIITE 5. YKSI EPÄYHTÄLÄISEN SÄÄN VUOKSI KUVAUSALUEELLE MUODOSTUNEISTA VARJOALUEISTA.....	42
LIITE 6. ORTOKUVA TARKENNETTUNA SIPOVAARAN ASUINALUEESEEN.....	43
LIITE 7. ORTOKUVA TARKENNETTUNA VALTATIE 5:N YLLE. KUVASSA EROTETTAVISSA MYÖS YKSI SIGNAALISTA.....	43

Liite 1. Lennokkikuvauksella tuotettu lopullinen ortokuva kokonaisuudessaan.



Liite 2. Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistosta saadut korkeuskäyrät yhdistettynä ortokuvaan.



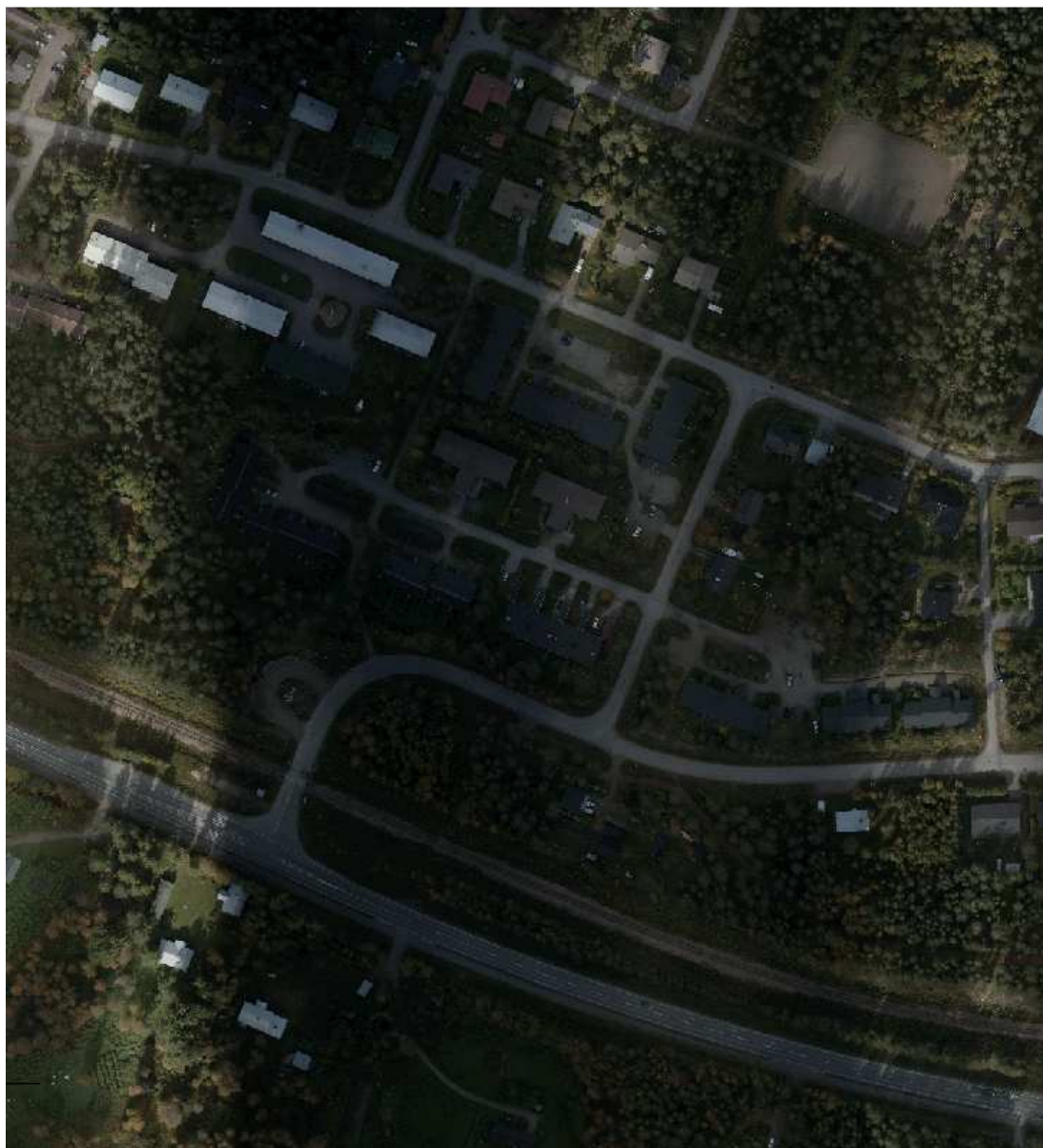
Liite 3. Ortokuva tarkennettuna Kallaanvaaran kaava-alueen ylle.



Liite 4. Ortokuva tarkennettuna vanhan sellutehdasalueen ylle.



Liite 5. Yksi epäyhtäläisen sään vuoksi kuvausalueelle muodostuneista varjoalueista.



Liite 6. Ortokuva tarkennettuna Sipovaaran asuinalueeseen.



Liite 7. Ortokuva tarkennettuna valtatie 5:n ylle. Kuvassa erotettavissa myös yksi signaaleista.

