

**OPINNÄYTETYÖ**  
**MATTI MEINILÄ 2014**

**UAV – LENNOKIN HYÖDYNTÄMINEN  
MAASTOTIETOKANNAN AJANTASAI-  
TUKSESSA**



**Rovaniemen**  
**ammattikorkeakoulu**  
University of Applied Sciences  
LUC

**MAANMITTAUSTEKNIikka**

Opinnäytetyö

# **UAV – LENNOKIN HYÖDYNTÄMINEN MAASTOTIE- TOKANNAN AJANTASAISTUKSESSA**

Matti Meinilä

2014

Toimeksiantaja Lapin Maanmittaustoimisto

Ohjaaja Pasi Laurila

Hyväksytty \_\_\_\_\_ 2014 \_\_\_\_\_

<b>Tekijä</b>	Matti Meinilä	<b>Vuosi</b>	2014
<b>Toimeksiantaja Työn nimi</b>	Lapin Maanmittaustoimisto UAV - lennokin hyödyntäminen maastotietokannan ajantasaistuksessa		
<b>Sivu- ja liitemäärä</b>	39		

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää lennokilla tehtävän kartoituksen, UAV-kartoituksen, hyödynnettävyyttä Maanmittauslaitoksen maastotietokannan ajantasaistuksessa. Työssä käydään läpi ilmakuvauksen prosessi yleisesti, käsitellään UAV-kuvauksista ja siihen liittyvää lainsäädäntöä sekä esitellään jatkuvan ajantasaistuksen nykyistä prosessia Lapin Maanmittaustoimistossa.

Opinnäytetyö perustuu kesällä 2013 Sinetässä kuvattuun UAV-kuvaukseen. Kuvauksen tuloksia, lähinnä ortokuvaa, verrataan Maanmittauslaitoksen aineistoihin ja ajankäyttöä/tehokkuutta jatkuvan ajantasaistuksen nykykäytäntöihin.

Vertailun tuloksena kävi ilmi, että UAV-lennokilla tehtävä kartoitus on tehokkaampi menetelmä verrattuna nykyiseen GPS-mittaukseen perustuvaan tiedonkeruuseen tiheästi rakennetulla, 4-5 neliökilometrin alueella. Lisäksi UAV-kuvauksesta saatavaa muuta informaatiota voidaan hyödyntää laajemminkin Maastotietokannan ajantasaistuksessa.

UAV-kuvauksella ei tule syrjäyttämään GPS-mittauksia jatkuvassa ajantasaistuksessa, puhumattakaan tavallisesta ilmakuvauksesta, mutta tietynlaisilla alueilla se olisi hyvä apuväline Maastotietokannan muuhunkin ajantasallapitoon.

<b>Author</b>	Matti Meinilä	<b>Year</b>	2014
<b>Commissioned by</b>	Lapland District Survey Office		
<b>Subject of thesis</b>	Utilising UAV Model Plane in the Updating of the Topographic Database		
<b>Number of pages</b>	39		

---

The objective of this thesis was to clarify the usefulness of UAV mapping in the updating of the terrain database of the National Land Survey of Finland. The purpose was to discuss the process of aerial photography generally, and to deal with the legislation related to the UAV mapping. The present process of ongoing updating in Lapland District Survey Office was also demonstrated in the thesis.

The thesis was based on the UAV aerial photography that was done in the summer 2013 in Sinettä. The results, mainly the orthophoto, were compared with the materials of the National Land Survey of Finland and with the use of time/effectiveness the present practices of the ongoing updating.

The result of the comparison showed that mapping which is done with the model plane is a more efficient method compared to the present GPS measuring based data acquisition in the area of 4-5 square kilometres that has been densely built. Furthermore, other information to be obtained from the UAV picture can be also more widely utilised in the updating of Topographic Database.

The UAV mapping will not displace the GPS measuring not to mention ordinary aerial photography in the ongoing updating. However, in certain types of areas it would be a good instrument also for other type of updating of the Topographic Database.

**Key words:** UAV, aerial photography, National Land Survey of Finland, orthophoto, updating

# Sisällys

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ILMAKUVAUS</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>PYSTYKUVAUS</b> .....	<b>2</b>
<b>2.2</b>	<b>ILMAKUVAUSPROSESSI</b> .....	<b>2</b>
2.2.1	<i>Kuvaussuunnitelma</i> .....	2
2.2.2	<i>Signalointi</i> .....	3
2.2.3	<i>Ilmakuvauksen suorittaminen</i> .....	3
2.2.4	<i>Ilmakuvien prosessointi</i> .....	4
2.2.5	<i>Ilmakolmiointi</i> .....	4
2.2.6	<i>Stereokartoitus</i> .....	5
<b>2.3</b>	<b>ORTOKUVA</b> .....	<b>5</b>
<b>2.4</b>	<b>ORTOKUVIEN VALMISTUS</b> .....	<b>6</b>
2.4.1	<i>Ortokuvien laskenta</i> .....	6
2.4.2	<i>Kuvan sävyjen korjailu</i> .....	6
2.4.3	<i>Mosaikointi</i> .....	6
<b>2.5</b>	<b>MAANMITTAUSLAITOKSEN ILMAKUVAUSTOIMINTA</b> .....	<b>7</b>
2.5.1	<i>Alueet</i> .....	7
2.5.2	<i>Kalusto</i> .....	7
<b>2.6</b>	<b>DIGITAALINEN ILMAKUVAKAMERA</b> .....	<b>7</b>
2.6.1	<i>Toimintaperiaate</i> .....	7
2.6.2	<i>Matriisikamera</i> .....	8
2.6.3	<i>Rivikamera</i> .....	8
<b>3</b>	<b>UAV - ILMAKUVAUS</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1</b>	<b>MÄÄRITELMÄ</b> .....	<b>10</b>
<b>3.2</b>	<b>HYÖDYNTÄMINEN</b> .....	<b>10</b>
<b>3.3</b>	<b>TUOTTEET</b> .....	<b>10</b>
<b>3.4</b>	<b>SÄÄNNÖKSET</b> .....	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>MAASTOTIETOKANTA</b> .....	<b>13</b>
<b>4.1</b>	<b>SISÄLTÖ JA KÄYTTÖ</b> .....	<b>13</b>
<b>4.2</b>	<b>MAANMITTAUSLAITOKSEN MAASTO- JA RAJATIETOTUOTANTOPROSESSI</b> .....	<b>13</b>
<b>4.3</b>	<b>MAASTOTIETOJEN JATKUVA AJANTASAISTUS</b> .....	<b>14</b>
4.3.1	<i>Maastotöiden valmistelu jatkuvassa ajantasaistuksessa</i> .....	14
4.3.2	<i>Välineet</i> .....	15
4.3.3	<i>Maastotyö</i> .....	15
4.3.4	<i>Tietojen tallentaminen tietokantaan</i> .....	15
<b>5</b>	<b>UAV – ILMAKUVAUKSEN KOETYÖ</b> .....	<b>16</b>
<b>5.1</b>	<b>ALUE</b> .....	<b>16</b>
<b>5.2</b>	<b>KUVAUKSESSA KÄYTETTY KALUSTO</b> .....	<b>16</b>
5.2.1	<i>Gatewing X100</i> .....	16
5.2.2	<i>Kamera</i> .....	17
5.2.3	<i>Trimble Business Center – ohjelmisto</i> .....	17
5.2.4	<i>Huolto</i> .....	18
<b>5.3</b>	<b>KUVAUKSEN TOTEUTUS</b> .....	<b>18</b>
5.3.1	<i>Valmistelu</i> .....	18
5.3.2	<i>Lento</i> .....	19
5.3.3	<i>Prosessointi</i> .....	21
<b>5.4</b>	<b>KOELENNOSTA TUOTETTU ORTOKUVA</b> .....	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>KOETYÖN AINEISTON VERTAILU MML:N AINEISTOON</b> .....	<b>23</b>
<b>6.1</b>	<b>TARKKUUS JA LAATU</b> .....	<b>23</b>
6.1.1	<i>Toimenpiteet ennen vertailua</i> .....	23
6.1.2	<i>Ortokuvien tarkkuuden vertailu</i> .....	24

6.1.3	<i>Erotuskyky</i> .....	25
7	<b>VERTAILU JATKUVAAN AJANTASAISTUKSEEN</b> .....	27
7.1	<b>TAVOITE</b> .....	27
7.2	<b>AJANKÄYTTÖ GPS - MITTAUKSESSA</b> .....	27
7.3	<b>AJANKÄYTTÖ UAV-KUVAUKSESSA</b> .....	29
7.4	<b>KUSTANNUKSET</b> .....	30
7.5	<b>KARTOITUSPROSESSIEN VERTAILU</b> .....	31
7.5.1	<i>Olosuhteet</i> .....	31
7.5.2	<i>Saatava informaatio</i> .....	31
7.5.3	<i>Tehokkuus</i> .....	32
8	<b>YHTEENVETO</b> .....	33
8.1	<b>UAV JATKUVASSA AJANTASAISTUKSESSA</b> .....	33
8.2	<b>AJATUKSIA UAV:N KÄYTÖSTÄ MAANMITTAUSLAITOKSESSA</b> .....	33
9	<b>LÄHTEET</b> .....	35
10	<b>LIITTEET</b> .....	36

## TERMIUETTELO

UAV = Unmanned Aerial Vehicle

IMU = Inertial measurement unit

CCD = Charge coupled device

EASA = European Aviation Safety Agency

Trafi = Liikenteen turvallisuusvirasto

MML = Maanmittauslaitos

VRS = Virtual Reference Station

RHR = Rakennus – ja huoneistorekisteri

## KUVIOLUETTELO

KUVIO 1. CCD – MATRIISIA KÄYTTÄVÄN KAMERAN GEOMETRIA. (WOLF JA DEWITT 2000)	8
KUVIO 2. CCD – RIVIÄ KÄYTTÄVÄN KAMERAN GEOMETRIA. (WOLF JA DEWITT 2000)	9
KUVIO 3. GATEWING X100 UAV – KARTOITUSJÄRJESTELMÄ.	17
KUVIO 4. SIGNAALIEN MITTAUS TRIMBLE R8 GPS- LAITTEELLA.	19
KUVIO 5. LENTOREITTI LADATTUNA GOOGLE EARTH:SSÄ	20
KUVIO 6. GATEWING X100 VALMIINA LAUKAISUUN.	21
KUVIO 7. GEODEETTISEN LAITOKSEN KOORDINAATTIMUUNNOSPALVELU.	23
KUVIO 8. UAV-LENNOKILLA OTETTU ORTOKUVA.	26
KUVIO 9. MML:N ORTOKUVA.	26

## TAULUKKOLUETTELO

TAULUKKO 1. KOORDINAATTITÄULUKKO VERTAILUPISTEIDEN MITTAUKSISTA	24
TAULUKKO 2. KOORDINAATTITÄULUKKO ORTOKUVILTA MITATUISTA VERTAILUPISTEISTÄ.	25
TAULUKKO 3. KUSTANNUSVERTAILUESIMERKKI	31

## 1 JOHDANTO

Ilmakuvaus on kehittynyt viimeisen kymmenen vuoden aikana huimasti. Digitaalinen ilmakuvaus, automaattiset prosessointimenetelmät ja kuvansovituksella tuotettavat pistepilvet tuottavat nopeasti laadukasta kuvatietaa. Vastavasti myös tiedontarvitsijoiden vaatimukset ovat kasvaneet: Vaaditaan tarkempaa ja ajantasaisempaa informaatiota.

Yksi uusimmista paikkatiedon ja ilmakuviin tuottamiseen kehitetyistä järjestelmistä on lennokilla tehtävä ilmakuvaus eli UAV-ilmakuvaus. Menetelmällä saadaan nopeasti tuotettua kuva- ja pistepilviaineistoa pienehköiltä alueilta.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia UAV-lennokin soveltuvuutta Maanmittauslaitoksen maastotietokannan ylläpidossa. Aihe oli itselle mielenkiintoinen, koska työskentelen MML:ssa juuri maastotietokannan ajantasaisuudessa ja siten ns. tavallisten ilmakuviin parissa työskentely on tuttua. Aiheen valintaan vaikutti lisäksi se, ettei MML:ssa ole suuremmin kokeiltu UAV:n käyttöä tuotantotehtävissä.

Käsittelen aihetta työssäni MML:n jatkuvan ajantasaistuksen näkökulmasta, koska siinä tavoitteena on maaston muutosten mahdollisimman nopea saaminen tietokantaan ja juuri siinä UAV:n käyttö olisi hyödynnettävissä. Työni perustuu kesällä 2013 suoritettuun UAV- kuvaukseen, jonka tuloksia vertaan MML:n kuva-aineistoon. Vertaan myös UAV-kuvauksen tehokkuutta MML:n nykyisiin työmenetelmiin.

Opinnäytetyössä käydään lisäksi läpi varsinaiseen aiheeseen oleellisesti liittyviä asioita, kuten ilmakuvausprosessi, ortokuva, UAV-kuvaus lainsäädäntöineen ja Maanmittauslaitoksen maastotietokanta ylläpitoprosesseineen. Lopuksi pohdin UAV:n käyttömahdollisuuksia laajemminkin Maanmittauslaitoksen tehtävissä.



## 2 ILMAKUVAUS

### 2.1 Pystykuvaus

Kartoitusilmakuvaukset suoritetaan yleensä pystykuvauksena. Pystykuvauksessa kuvataso on vaakasuorassa ja kuvausakseli pystysuorassa. Em. sanotaan täydelliseksi pystykuvaksi, mutta kuvaustilanteessa kuvakallistuksia ei voida täysin välttää ja siksi kuvausmittausohjeet sallivat pieniä kallistuksia: Kuvausakselin maksimikallistus on 5 goonia pystysuorasta. (Laurila 2008, 42.)

### 2.2 Ilmakuvausprosessi

#### 2.2.1 Kuvaussuunnitelma

Ilmakuvaus suoritetaan aina kuvaussuunnitelman mukaisesti. Kuvaussuunnitelma laaditaan tarkoituksenmukaiselle karttapohjalle, yleensä maastokartalle 1:20000. Kuvaussuunnitelmaa laadittaessa otetaan huomioon kartoitettavan alueen muoto, jotta kuvajonojen ja kuvien määrä voidaan minimoida. Yleensä kuvajonot suunnitellaan itä-länsisuuntaisiksi, ellei mittausalueen muoto tai tyyppi muuta edellytä. Tällaisia poikkeuksia ovat esimerkiksi tien suunta tai valtakunnan raja. (Maanmittauslaitos 2003. 16-17.)

Kuvaussuunnitelmassa tulee ilmetä ainakin seuraavat tiedot:

- alueen sijainti (kunta ja/tai yleislehtijaon karttalehden numero),
- 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. (Maanmittauslaitos 2003, 16-17).

### 2.2.2 Signalointi

Ennen ilmakehän kuvausta täytyy kartoitettavalle alueelle näkyvöittää, eli signaloida, tarpeellinen määrä kiinto- ja tukipisteitä ilmakehän kuvien orientointia varten. Signaloinnista tehdään kuvaussuunnitelman yhteydessä signaloitisuunnitelma, missä on esitetty signaloitavat pisteet, signaloititapa ja signaalikoko. Näkyvöittäminen tapahtuu rakentamalla kiintopisteiden päälle valkeita, joko ristin- tai neliönmuotoisia signaaleja. Signaalien kokoon vaikuttaa kuvausmittakaava ja käytettävä kamera. (Laurila 2008, 53-54.)

Signaloidun runkopisteistön on oltava niin kattava, että se sulkee kokonaisuudessaan sisäänsä mitattavan alueen. (Maanmittauslaitos 2003, 18)

### 2.2.3 Ilmakehän kuvauksen suorittaminen

Ilmakehän kuvaukset, jotka siis tehdään aina kuvaussuunnitelman mukaan, suoritetaan yleensä keuhällä, jolloin maankamara on lumeton eivätkä puiden lehdet estä kohteiden tarkkaa mittaamista kuvilta. Ortokuvia varten suoritettavat kuvaukset tehdään kuitenkin kesällä, kasvukauden aikana, koska kuvilta halutaan erottaa erilaiset viljelykset ja metsätyypit. (Maanmittauslaitos 2003, 18-19.)

Yleensä kuvaukset suoritetaan 60% pituus- ja 30% sivupeitoilla. Nämä arvot ovat minimivaatimuksia kartoitusilmakehän kuvauksille, mutta suurempiakin peittoprosentteja käytetään, jos kyseessä on alue, joka kuuluu mittausluokkaan 1 (Taajama-alue, jolla maa on erittäin arvokasta) tai kuvauksen tarkoituksena on tuottaa ortokuvia. (Maanmittauslaitos 2003, 18.)

Kuvausajankohtana auringon korkeuskulman pitää olla vähintään 30 astetta ja näkyvyyden pitää olla hyvä, sään on oltava pilvetön ja savuton. (Maanmittauslaitos 2003, 19).

Koko kuvausalueen stereopeiton varmistamiseksi on kaavoitusmittausohjeissa määrätty, että kuvauksen laitimmaisten lentojonojen on ylitettävä alueen reuna vähintään 10% maastomittakaavassa laskettuna, mihin lisätään vielä 1cm kuvamittakaavassa mitattuna. Kuvausjonojen päissä kuvauksen on ylitettävä vähintään yhden kuvakannan verran kartoitettavan alueen ulkopuolelle. Varsinaisen kuvausalueen ulkopuolella sijaitsevat, lähtöpisteinä käytetyt kiin-

topisteet lasketaan tässä yhteydessä kuuluvaksi kuvausalueeseen, eli käytännössä kuvausjonot voivat ylittää edemmäksikin, kuin yhden kuvakannan verran, mikäli lähtöpisteitä sijaitsee tätä kauempana.

Edellä kuvatut ohjeet ovat osaksi vanhentuneita, sillä ne koskevat filmikameralla tehtyjä kuvauksia. Nykyään lähes kaikki ilmakuvaukset tehdään digitaalisilla kameroilla, jotka mahdollistavat kuvauksen matalammilla auringon korkeuskulmilla ja pituuspeiton kasvattamisen 60% .sta. ilman lentokustannusten lisääntymistä. Fotogrammetrian ja Kaukokartoituksen seura on uudistanut ilmakuvaussuosituksia Suomessa, mutta tätä kirjoitettaessa niitä ei ole vielä julkaistu. (FKS:n julkaisu).

#### 2.2.4 Ilmakuvien prosessointi

Ilmakuvien prosessoinnilla tarkoitetaan kuvien muokkaamista käyttökelpoiseen muotoon paikkatieto- ja muita sovelluksia varten. Prosessoinnissa kuvat georeferoidaan, eli määritetään kohdekoordinaatiston ja kuvapisteen välinen yhteys ts. kuva kiinnitetään maastokoordinaatistoon. (Honkavaara, Markelin, Nurminen 2011. )

Digitaalisten ilmakuvien prosessointiin kuuluu lisäksi kuvien radiometrian, eli kuvien värisävyihin liittyvien ominaisuuksien korjaaminen, kuvansovitusmenetelmät, joilla tuotetaan automaattisesti pintamalleja sekä reflektanssikalibrointi, mikä tarkoittaa kuvien sävyarvojen muuntamista kohteen heijastuvuutta kuvaavaksi suureeksi. (Honkavaara, Markelin, Nurminen 2011. )

#### 2.2.5 Ilmakolmiointi

Kolmiointia varten mitataan fotogrammetrisellä pistetihennyksellä uusia tuki (liitos) pisteitä. Näitä pisteitä mitataan niin, että lähtöpisteet mukaan lukien jokaiselle stereomallille sijoittuu vähintään viisi tunnettua pistettä. (Laurila 2008, 53).

Fotogrammetrisella pistetihennyksellä voidaan mitata muitakin kohteita, kuten rajamerkkejä ja kunnallisteknisiä kohteita.

Kolmioinnissa kuvahavainnot tehdään liitospisteinä. Liitospisteet ovat kuvien välisiä vastinpisteitä, jotka on havaittu tarkasti. Kuvahavainnoista lasketaan sädekimput kameran sisäisen orientoinnin tiedoin ja sädekimput tasoitetaan

blokkina (blokkitasoitus). Blokkitasoituksen tuloksena saadaan kuvien ulkoisen orientoinnin parametrit ja liitospisteiden koordinaatit. Kun osa liitospisteistä on kolmioiden lähtöpisteitä, joiden maastokoordinaatit ovat tunnettuja, orientoituu kuvablokki samaan koordinaatistoon. (Haggrén 2008, 22-23.)

### 2.2.6 Stereokartoitus

Stereokartoituksessa digitoidaan, koodataan ja talletetaan maastotieto ilmakuvilta. Tuloksena saadaan 3D-koordinaattista sijaintitietoa. Sijaintitiedon esitystapa – mitä halutaan korostaa, miten kohteet koodataan tai miten kohteet luokitellaan – riippuu tiedon tarvitsijasta/tilaajasta.

Nykyään suurin osa stereotiedonkeruusta tehdään digitaalisilla stereotyöasemilla. Työasema sisältää stereofotogrammetrisen tietokoneohjelmiston ja stereonäytön. Stereonäytön kolmiulotteinen vaikutelma saadaan aikaan esimerkiksi polarisaatioperiaatteen avulla, missä tietokoneen näytön polarisaatiopaneelin ja operaattorin päässä olevien polarisaatiolasien avulla luodaan ihmisen aivoihin kolmiulotteinen kuva.

## 2.3 Ortokuva

**Ortokuva** on kartan projektioon oikaistu ilmakeku eli siitä on poistettu maaston korkeuseroista johtuvat mittakaavaerot. Orto-oikaisussa oikaisupintana käytetään maanpintaa tai kohteen pintaa, joka määritetään korkeusmallilla. Orto-oikaisussa kuvan perspektiivi muutetaan keskusprojektiokuvasta kohtisuoraksi yhdensuuntaisprojektioksi, eli ortogonaaliprojektioksi (Fotogrammetrian ja Kaukokartoituksen Seura 2005). Digitaaliset ortokuvat jaotellaan maanpintaortokuviin sekä tosiortokuviin riippuen maanpintaan kuulumattomien kohteiden käsittelytavasta.

**Maanpintaortokuva** muodostetaan käyttäen maanpintaa kuvaavaa korkeusmallia. Tällaisella ortokuvalla ainoastaan maanpinta on ortogonaaliprojektiossa, mutta korkeusmalliin kuulumattomat kohteet, kuten rakennukset, ovat perspektiivisesti vääristyneitä. (Haggrén 2002 – Honkavaara 2005, 2.)

**Tosiortokuva** muodostetaan käyttäen kohteen pintamallia, johon kuuluvat myös rakennetut kohteet. Tällöin kaikki kohteet ovat ortogonaaliprojektiossa. Tosiortokuvan muodostamista varten kuvaus täytyy suorittaa erittäin suurilla

sivu- ja pituuspeitoilla, jotta myös katvealueet saadaan ortokuvalle. (Haggrén 2002 – Honkavaara 2005, 2.)

## 2.4 Ortokuvien valmistus

### 2.4.1 Ortokuvien laskenta

Ortokuvan laskentaan tarvittavat tiedot ovat kuvat, korkeusmalli ja orientointitiedot. Ulkoiset orientointitiedot määritellään yleensä perinteisellä ilmakolmioinnilla tai GPS/IMU-tuetulla ilmakolmioinnilla (suora georeferointi).

Kuvat oikaistaan valittuun koordinaattijärjestelmään pikselikoolla, jolla tehtävän vaatimukset täyttyvät. Oikaisumallina käytetään keskusprojektion mukaista perspektiivimallia eli kollineaarisuusehtoa maanpinnan ja kuvan välillä. Ortokuvien laskennan yhteydessä kuvista poistetaan myös tunnetut kuvausvirheet (refraktio, maankaarevuus ja optiikan piirtovirheet). (Haggrén 2002 – Honkavaara 2005, 5.)

### 2.4.2 Kuvan sävyjen korjailu

Sävykorjausta tarvitaan myötävalo/vastavaloilmiön eliminoimiseksi. Myötävalo/vastavaloilmiö tarkoittaa käytännössä sitä, että projektiokeskuksen toisella puolella kamera näkee kohteiden auringon valaiseman puolen kun taas toisella puolella kamera näkee kohteiden varjoisan puolen. Sävyjen korjaustoimenpiteitä ovat:

- kuvan sisäinen sävyarvojen tasaus
- häiritsevien sävyerojen poistaminen mosaikoitavilta kuvilta
- sävyjen säätäminen vastaamaan sovitun esimerkkikuvan sävyjä
- vesistöjen sävyjen ehostaminen (Fotogrammetrian ja Kaukokartoituksen Seura 2005).

### 2.4.3 Mosaikointi

Ortokuvat usein mosaikoidaan eli yhdistetään useampia ortokuvia ns. kuvamosaiikeiksi, koska yhdeltä ilmakuvulta voidaan tuottaa vain pienialainen ortokuva (Laurila 2008, 77). Geometrisesti paras tarkkuus saavutetaan, kun käytetään kuvien keskiosia, jolloin keskusprojektiosta aiheutuvat virheet ovat

mahdollisimman vähäisiä. Mosaikoinnin avulla poistetaan myös pilvet, pilviharsot ja pilvien varjot. (Fotogrammetrian ja Kaukokartoituksen Seura 2005.)

Mosaiikkisaumat määritellään yleensä siten, että sauma sijoitetaan kohteen kuviorajoihin, jolloin naapurikuvien mahdollinen sävyero on ”luonnonmukainen” Automaattisessa mosaikoinnissa käytetään suoria rajoja. (Haggrén 2002. – Honkavaara 2005, 16.)

## **2.5 Maanmittauslaitoksen ilmakehuvaustoiminta**

### **2.5.1 Alueet**

Maanmittauslaitos kuvaa vuosittain 80 000 – 100 000 neliökilometriä, joista noin puolet omalla lento – ja kuvauskalustolla. Kuvattavat alueet valitaan maastotietokannan päivitystarpeen ja Maaseutuviraston aineistotarpeiden mukaan. Alihankintana teetettävät kuvaukset menevät pääosin Maaseutuviraston tarpeisiin. (Maanmittauslaitos 2013.)

### **2.5.2 Kalusto**

Maanmittauslaitoksen ilmakehuvauskalustoon kuuluu Rockwell Turbo Commander 690A –lentokone varustettuna Intergraphin DMC kameralla. MML siirtyi käyttämään digitaalista ilmakehuvauskameraa vuonna 2009. Vuosina 2004 ja 2005 testattavana olleista kolmesta kameramerkistä käyttöön valittiin siis Intergraphin DMC kamera, joka on CCD-kennon käyttöön perustuva ilmakehuvauskamera. Yleisin lentokorkeus on viisi kilometriä, millä saadaan aikaan 50 cm:n maastoresoluution kuvia.

Vuonna 2013 MML hankki myös oman laserkeilaimen, jota toistaiseksi käytetään pääasiassa tutkimus – ja kehittämistarkoituksiin. Pääosan tuotantoa varten keilattavista alueista suorittavat alihankkijat (Ilves 2006; 2009; Saarinen 2007; Lehtonen 2013).

## **2.6 Digitaalinen ilmakehuvauskamera**

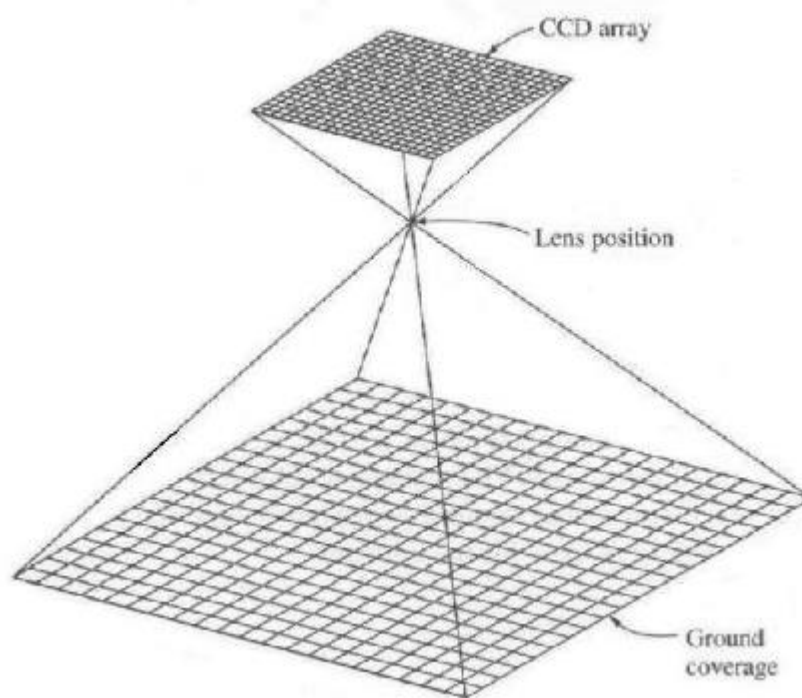
### **2.6.1 Toimintaperiaate**

Digitaalisen ilmakehuvauskameran käyttö perustuu CCD-kennon käyttöön. CCD-kennon (Charge coupled device) sisältää puolijohde-elementtejä, joista jokainen vastaa kuvalla yhtä kuvapikseliä. Digitaalisen kamerasen etuja analogiseen kameraan verrattuna ovat mm. parempi radiometrinen laatu ja mahdol-

lisuus kerätä samanaikaisesti sekä pankromaattista, väri- ja infrapunakuva. (Saarinen 2007.)

### 2.6.2 Matriisikamera

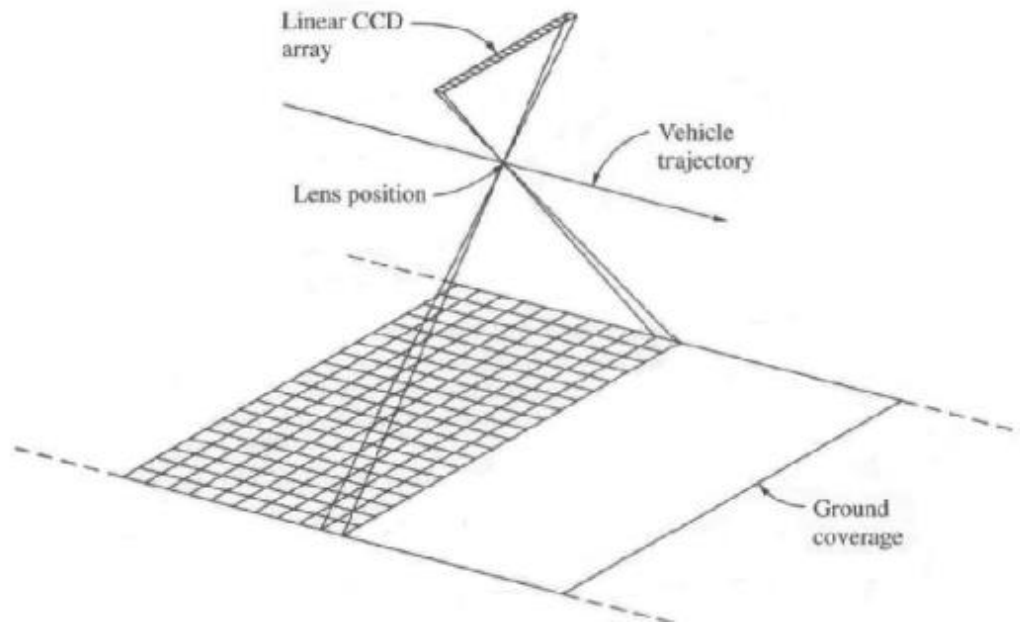
Matriisikameran matriisilla tarkoitetaan CCD-kennoa. Koska nykyiset matriisit eivät ole tarpeeksi suuria, tai niiden hinta on korkea, on matriisikamerat toteutettu yhdistämällä useita pienempiä matriiseja (kameroita). Näiden tuottama informaatio yhdistetään yhdeksi isommaksi kuvaksi. (Saarinen 2007.)



Kuvio 1. CCD – matriisia käyttävän kameran geometria. (Wolf ja Dewitt 2000)

### 2.6.3 Rivikamera

Rivikamera skannaa maanpintaa samalla periaatteella kuin kaukokartoitusatelliitit – Se ei siis ota yksittäisiä kuvia. Tulokseksi saadusta pitkästä ja kapeasta kuvamatosta saadaan stereokuvaa lisäämällä yksi tai useampi puolijohde-elementti kameraan, jolloin suoraan alaspäin kuvaavan rivin lisäksi on useampia rivejä, jotka kuvaavat maata eri kulmista. (Saarinen 2007.)



Kuvio 2. CCD – riviä käyttävän kameran geometria. (Wolf ja Dewitt 2000)



### **3 UAV - ILMAKUVAUS**

#### **3.1 Määritelmä**

UAV-Ilmakuvauksella tarkoitetaan miehittämättömällä ilma-aluksella, joko lennokilla tai kauko-ohjattavalla helikopterilla tehtävää kuvausta. Suomen ilmailuliiton yleisissä lennokkiturvallisuusohjeissa sanotaan lennokin kategorioinnin muuttuvan UAV:ksi, kun lennokilla tehdään lentotyötä.

Tarkemmin termi UAV tarkoittaa ainoastaan miehittämätöntä ilma-alusta, Unmanned Aerial Vehicle. Termi UAS, Unmanned Aerial System, jolla tarkoitetaan koko järjestelmää maa-asemineen ja kuvauslaitteineen, olisi tässä yhteydessä ehkä parempi, mutta UAV lienee tutumpi ja käytetympi.

#### **3.2 Hyödyntäminen**

UAV-ilmakuvausta hyödynnetään tällä hetkellä pinta-alaltaan pienillä, 1-5 neliökilometrin alueilla, joiden kuvaaminen perinteisellä ilmakuvauksella ei ole kannattavaa. Tällaisia kohteita ovat mm. kaivosteollisuuden- ja soraura-koitsijoiden maa-ainesinventoinnit, turvetuotanto – ja tulva-alueiden sekä vesi ja viemäriverkostojen kartoitus. Metsänhoidossa UAV-kartoitusta on käytetty mm. arvokkaiden biotyypin kartoituksessa. (Puupponen 2008.)

PIEngineering Oy:n toimitusjohtaja Mikko Sipon mukaan lennokilla tehtävät mittaukset soveltuvat hyvin myös maankäytön suunnitteluun ja kaavoitukseen. Sipon mukaan muita soveltamiskohteita voisivat olla EU:n peltotukivalvonta ja tieurakoiden havainnolliset väliraportit. (Isotalo 2011.)

#### **3.3 Tuotteet**

UAV-lennokilla kuvattavilta alueilta saatavana lopputuotteena voi olla pelkkä ilmasta otettu valokuva, jota voidaan käyttää maisemakuvana (tauluna). Hyötykäyttöön saatavia lopputuotteita ovat viestikuvat, joita voi hyödyntää esimerkiksi kaavoituksen ja luonnonvarojen seuraamisen tarpeisiin, sekä ortokuvat ja digitaaliset pintamallit.

Ortokuvien ja pintamallien tuottamiseen tarvitaan lennokin ja kameran lisäksi tietokoneohjelmisto kuva-aineiston käsittelyyn, prosessointiin.

### 3.4 Säännökset

Voimassa olevassa ilmailulaissa (24.4.2013) määrätään lain 6§:ssä miehittämättömistä ilma-aluksista (toimintamassa alle 150kg.) seuraavaa: *Jos lentoturvallisuuden kannalta ei ole estettä eikä EASA-asetuksen säännöksistä muuta johdu, Liikenteen turvallisuusvirasto voi myöntää 2, 3 ja 5–9 luvun säännöksistä vähäisiä poikkeuksia.* Noissa luvuissa käsitellään mm. ilma-aluksen rekisteröintiä, kansallisuutta, merkitsemistä, lentokelpoisuutta ja kelpoisuusvaatimuksia.

Ilmailulain 6§ sanotaan lisäksi: *Kokeilu- tai tutkimustarkoituksiin käytettävä miehittämätön ilma-alus saa poiketa lentosäännöistä muulta ilmailulta kielletyllä tai tarkoitusta varten tilapäisesti erotetulla alueella, jos poikkeava menettely on suunniteltu ja toteutetaan siten, ettei lentoturvallisuutta vaaranneta.*

Käytännössä em. tarkoittaa, että lennokkia voi lennättää Liikenteen turvallisuusviraston (Trafi) luvalla valvomattomassa ilmatilassa alle 150 metrin korkeudella, kunhan lennokki on koko ajan näköpiirissä. Valvotussa ilmatilassa, kuten lentokenttien ja valtakunnanrajan läheisyydessä täytyy lennättämiseen hakea lupaa lennonjohdolta. Asutuksen päällä lennettäessä täytyy minimikorkeuden esteestä olla vähintään 30 metriä.

Hallituksen esityksessä (HE5/2013) ilmailulain muuttamisesta poistettaisiin rajaus ”kokeilu- ja tutkimustarkoituksiin”, koska se katsotaan liian rajoittavaksi. Lisäksi ehdotukseen sisältyy muutos ilmailulain 77§:n 6 momenttiin siten, että toimintamassaltaan alle 150 kg:n miehittämättömiä ilma-aluksia voitaisiin käyttää lentotyössä, vaikka niitä ei ole merkitty Suomen ilma-alusrekisteriin.

Unionilainsäädännössä ei ole vielä tällä hetkellä säädetty lentokelpoisuusvaatimuksia miehittämättömille ilma-aluksille, ja Trafilla on toimivalta antaa toiminnasta tarkempia määräyksiä. Trafin tarkoituksena onkin antaa lentotyöstä miehittämättömillä ilma-aluksilla määräys, joka noudattelee Euroopassa vuodesta 2004 vallalla olleita linjauksia: Alus on koko ajan suorassa yhteydessä lennättäjään tai lennättäjän yhteydessä olevan tarkkailijan näköpiirissä korkeintaan 500 metrin etäisyydellä ja korkeintaan 120 metrin korkeudella.

Laajemmat miehittämättömiä ilma-aluksia koskevat lainmuutokset jätetään ilmailulain kokonaisuudistuksen yhteyteen, jolloin ne voidaan synkronoida EU- lainsäädäntöön tulevien muutosten kanssa.

## **4 MAASTOTIETOKANTA**

### **4.1 Sisältö ja käyttö**

Maanmittauslaitoksen Maastotietokanta on koko Suomen kattava maastoa kuvaava aineisto. Tärkeimpiä kohderyhmiä tietokannassa ovat liikenneväyläverkosto, rakennukset ja rakenteet, hallintorajat, nimistö, maankäyttö, vedet ja korkeussuhteet. Sijaintitietojen tarkkuus Maastotietokannassa vastaa mitakaavaa 1:5 000-1:10 000. Tiestöä ja rakennuksia päivitetään jatkuvasti, hallintorajoja vuosittain ja muita elementtejä noin 5-10 vuoden välein. (Maanmittauslaitos 2013.)

Maastotietokantaa käytetään karttatuotteiden raaka-aineena ja se soveltuu käytettäväksi esimerkiksi erilaisissa GPS-paikannusta hyödyntävissä paikannus-, reitinhaku-, ylläpito- ja tiedonkeruusovelluksissa. Maastotietokantaa hyödynnetään myös rakentamisen suunnittelussa, kaavoituksissa ja erilaisissa ympäristöön liittyvissä tutkinnassa ja seurannassa. (Maanmittauslaitos 2013.)

Maastotietokanta on ollut kaikkien ilmaisessa käytössä toukokuusta 2012 lähtien (Maanmittauslaitos 2013).

### **4.2 Maanmittauslaitoksen Maasto- ja rajatietotuotantoprosessi**

Maanmittauslaitoksessa on käytössä prosessiorganisaatio. Maasto- ja rajatietotuotanto (MARA) on yksi seitsemästä ns. ydinprosessista. MARA:ssa toteutetaan Maanmittauslaitoksen lakisääteisiä tehtäviä, huolehtia yleisistä kartastotöistä ja huolehtia kiinteistöjä ja paikkatietoja koskevien rekisterien ylläpitämisestä. Maasto- ja rajatietotuotantoprosessi sisältää seuraavat tuotantoprosessit:

- kiintopistemittaus
- ilmakuvaus ja kuvatuotanto
- maastotietojen määräaikainen ajantasaistus
- maastotietojen jatkuva ajantasaistus
- laserkeilaus ja korkeusmallituotanto
- kiinteistörajatietojen perusparannus
- julkaisuprosessit

- pienimittakaavaisten karttatietokantojen tuotanto. (Maanmittauslaitos 2013.)

### 4.3 Maastotietojen jatkuva ajantasaistus

Maastotietokannan valmistuttua 2007 on MML jatkanut sen ylläpitoa 5 tai 10 vuoden välein tehtävänä ajantasaistuksena. Osaa keskeisistä teemoista pidetään jatkuvasti ajan tasalla. Näitä ovat tiestö, osoitteet, rakennukset, hallintorajat ja suojelualueet.

Osoitetietojen ja rakennusten (asuin,- loma,- liike- ja teollisuusrakennukset) ajantasallapito perustuu pääasiassa kunnista saatuihin tietoihin. Osalta kunnista saadaan uusien rakennusten koordinaatit, jolloin MML:lla ei ole mittaus-tarvetta. Muilta kunnilta vihjetieto saadaan Rakennus- ja huoneistorekisterin (RHR) kautta: Kunta ilmoittaa myönnettyt rakennusluvat RHR:iin, josta tiedot päivittyvät noin kerran kuukaudessa maastotietokantaan (RHR-pisteinä). Nämä rakennukset on MML:n mitattava. Lapin 21 kunnasta seitsemältä saadaan rakennusten koordinaatit.

Liikenneverkkojen ja nimistön osalta ylläpitoon tulee kunnilta saadun tiedon lisäksi vihjetietoa myös muista lähteistä kuten Metsäkeskukselta. Liikenneverkoilla ei ole RHR-tyyppistä ilmoitusmenettelyä, mikä ainakin Lapissa on aiheuttanut sen, etteivät kunnat välttämättä ilmoita uusista teistä/kaduista, ellei niitä erikseen pyydetä.

Hallintorajojen ja suojelualueiden ylläpito maastotietokannassa perustuu virallisiin päätöksiin. Hallintorajat ajantasaistetaan kerran vuodessa, yleensä vuoden alussa, kun hallintorajojen muutokset ovat tiedossa.

#### 4.3.1 Maastotöiden valmistelu jatkuvassa ajantasaistuksessa

Ennen maastotöitä on selvitetty, mitkä kohteet voidaan tehdä valmiiksi sisätoinä. Tällaisia ovat ilmakuvilta näkyvät kohteet ja kohteet, joista on saatu koordinaattitiedot kunnilta tai muilta organisaatioilta. Valmisteleviin töihin kuuluvat myös vihjetietojen perusteella tehtävän suunnitelmakartan laadinta ja sen perusteella tehtävä reittisuunnitelma. Reittisuunnittelussa pyritään minimoimaan kustannukset optimoimalla ajomatka ja ajankäyttö selvittämällä etukäteen pääsy kohteille. Esimerkiksi puomien sijainnit ja keneltä niihin saa

avaimet on hyvä tietää etukäteen. Matkapuhelimessa olevaan MML:n karttaselainsovellukseen ladataan siirtotiedostot tausta-aineistoksi. Ko. sovelluksessa on käytössä koko ajan ajantasalla oleva maastotietokanta.

#### 4.3.2 Välineet

Kartoitusvälineitä ovat Trimble R8 tai Trimble GeoXT-GPS-laitteistot. Teiden mittaamista varten GPS-varustukseen kuuluu lisäksi auton katolle asennettava antenni. Eräänlaisiksi maastotyövälineiksi voidaan lukea myös matkaan otettavat karttatulosteet, muistiinpanovälineet ja em. karttaselainsovelluksella varustettu matkapuhelin.

#### 4.3.3 Maastotyö

Maastotarkistuksessa käydään läpi kartoitussuunnitelman mukaiset kohteet. Uudet kohteet mitataan GPS:llä ja ominaisuustiedot talletetaan. Rakennuksista mitataan sokkelin nurkat. Tiestön mittaaminen tapahtuu autoon asennetun GPS-laitteiston avulla, joka mittaa havainnon automaattisesti tietyn välimatkan välein. Muuttuneet kohteet mitataan tarvittaessa ja ominaisuustiedot tarkastetaan. Poistuneet kohteet, kuten purettu rakennus, merkitään karttatulosteelle. Maastotöiden yhteydessä tarkistetaan myös muista aineistoista kartoitettujen kohteiden ominaisuustiedot.

#### 4.3.4 Tietojen tallentaminen tietokantaan

GPS-mittaustiedot siirretään GPS-laitteesta työasemalle. Työasemalla mittausdatan Shapefile -tiedostoformaatti muunnetaan JAKOMTJ:ään ladattavissa olevaksi MXL-formaatiksi. Yleensä muunnos tehdään 3DWin-ohjelmalla. Kun tiestön tai rakennusten geometria on siirretty ja tallennettu JAKOMTJ:n, tarkistetaan kohteiden yhteydet olemassa olevaan aineistoon, tarkistetaan tai muutetaan osoitetiedot (tiestö) ja tehdään aineiston lisäyksestä aiheutuvat muutokset muihin maastotietokannan kohteisiin, kuten pintamerkkien ja nimitysten sijoittelu.

## **5 UAV – ILMAKUVAUKSEN KOETYÖ**

### **5.1 Alue**

Koetyö tehtiin 10.6.2013 yhdessä Geotrim Oy:n kanssa ja alueeksi valittiin Sinetän kylän keskusta noin 0,8 neliökilometrin alue. Alueen valintaan vaikuttivat alueen monipuolisuus – viljelyksiä, teitä, vesistöä ja rakennuksia, sekä mahdollisuus verrata tuloksia MML:n tavallisen ilmakuvauksen pohjalta tuotettuun ortokuvaan vuodelta 2012. MML tekee ko. kuvauksen pohjalta vuoden 2013 aikana maastotietojen määrääikaista ajantasaistusta, joten vertailtavana olevat kohteet on juuri käyty läpi/tarkistettu.

### **5.2 Kuvauksessa käytetty kalusto**

#### **5.2.1 Gatewing X100**

Kuvaus suoritettiin Gatewing X100 –UAV- kartoitusjärjestelmällä, joka soveltuu keskisuurille kartoitushankkeille. Järjestelmään kuuluvat Gatewing X100 -lennokki kuvauslaitteineen ja Trimble Business Center - tietokoneohjelmisto. (Geotrim 2013.)

Gatewing X100 on sähkökäyttöinen, styroxrunkoinen lennokki, jonka siipien kärkiväli on 100 cm. Järjestelmään kuuluu lennokin lisäksi kokoontaitettava laukaisualusta. Lennon yhteydessä tarvittavana maa-asemana toimii Trimblen tablet PC, jolta voi ohjata ja seurata lentoa. (Geotrim 2013.)

Gatewing X100 lennokin teknisiä tietoja:

- Paino: 2,0 kg
- Lentonopeus: 75 km/h
- Huippunopeus: 130 km/h
- Tuulen sietokyky: 65 km/h
- Lentoaika kerralla: 45 min
- RGB- tai CIR-kuvaus
- Kartoitusalue 5 cm:n resoluutiolla 1,5 km<sup>2</sup> (/lento)

- Kartoitusalue 10 cm:n resoluutiolla 3 km<sup>2</sup> (/lento)
- Automaattinen laukaisusta laskuun

Laskeutumisalueen kooksi suositellaan 150m x 30m aluetta, mutta alueeksi käy 80m x 20m aluekin, jos tuulenoisuus on alle 30 km/h (8,3m/s). Koneen laskeutumiskulma on 6 astetta ja nousukulma lähdössä 14 astetta (Trimble 2013).



Kuvio 3. Gatewing X100 UAV – kartoitusjärjestelmä.

### 5.2.2 Kamera

Lenkokin kamerana oli 10 Mpix:n Ricoh GR 4 digital-digitaalikamera, jonka polttoväli oli 6 mm ja erotuskyky 1 230 000 pikseliä. Ko. kamera soveltuu kevytensä ansiosta hyvin lennokissa käytettäväksi - Kamera painaa ainoastaan 190 grammaa.

### 5.2.3 Trimble Business Center – ohjelmisto

Trimble Business Center – ohjelmisto on suunniteltu Gatewing X100:lla kuvattujen aineistojen käsittelyyn. Ohjelmalla voi:



- ladata ja tarkastella lennokilla tuotettuja kuvia
- kohdistaa ilmakuvat automaattisesti luotujen liitospisteiden ja maastossa mitattujen kontrollipisteiden kanssa
- visualisoida mittaustiedot näyttämällä ne kuvien kanssa päällekkäin kohdistettuna
- mitata erillisiä pisteitä, kuten rakennusten kulmia ja puiden latvoja fotogrammetrisesti "virtuaalisella kaukoputkella"
- Luoda automaattisesti pistepilvet, oikaistut ortokuvamosaiikit ja rasteroida digitaaliset maastomallit ilmakuvista.

Kuvien prosessointi onnistuu Gatewingin omalla Strechout-ohjelmalla tai pilvipalvelussa. Kartoitusjärjestelmässä on tuki myös kolmannen osapuolen sovelluksille. (Geotrim 2013.)

#### 5.2.4 Huolto

Lennokin runko kestää noin 30-50 lentoa. Kestävyyteen vaikuttaa eniten se, minkälaiseen maastoon lennokka laskeutuu: kivikkoinen alusta on tietysti huonompi kuin esimerkiksi ruohikko. Lennokkipaketin mukana tulee varaosapaketti, joka sisältää tärkeimmät varaosat pientä korjaamista varten. Lennokin kameraa suositellaan kalibroitavaksi 10 lentokerran jälkeen.

### 5.3 Kuvauksen toteutus

#### 5.3.1 Valmistelu

Kuvauksen valmisteluun kuului sopivan lähtö- ja laskeutumipaikan etsiminen eli noin 200 metrin avoin maasto, jossa ei ole vaaraa lennokin osumisesta puihin tai muihin esteisiin lähdön ja laskeutumisen aikana. Alunperin lähtö- ja laskeutumipaikaksi kaavaillun urheilukentän reunalla kasvoi korkea puustoa, joten paikaksi vaihdettiin läheinen pelto.

Kuvattavan alueen rajaus tehtiin tablet-PC:llä, johon pohjakartaksi oli ladattu Googlemapsin ortokuva. Rajauksen lisäksi ohjelmaan osoitettiin haluttu laskeutumipaikka. Kun rajaus oli tehty, laski ohjelma lentoreitin ja kuvanotto-paikat annettujen pituus- ja sivupeittoprosenttien mukaan. Tässä tapauksessa peittoprosentit olivat 70/70. Suuret peittoprosentit kompensoivat lennokin vaappumisesta mahdollisesti aiheutuvia katvealueita ja varmistavat, että or-

tokuvia saadaan koko kartoitusalueelta. Tämän jälkeen lentoreitti ladattiin lennokin autopilottiin.

Kun kuvattavan alueen rajaus oli selvillä, vietiin alueen nurkka-alueille 4 kpl.tta 70cm\*70cm kokoisia pahvisia ristiksignaaleja, jotka mitattiin Trimble R8 GPS-laitteistolla.

Vielä ennen lentoa tehtiin lennokille tarkastuslistan mukainen tarkastus, jossa tarkastettiin, että kaikki toimii kuten pitääkin.



Kuvio 4. Signaalien mittaus Trimble R8 GPS- laitteella.

### 5.3.2 Lento

Lennokin laukaisua jouduttiin lykkäämään sadekuuron vuoksi noin puolella tunnilla. Sateella vaarana on vesipisaroiden joutuminen kameran linssiin ja kuvien epäonnistuminen. Pienen odottelun jälkeen sade laantui ja kuvaus voitiin aloittaa.

Lennokin lähettäminen tapahtui laukaisualustalta, jonka toimintaperiaate oli yksinkertainen: Joustavat narut viritettiin jännitykseen, jonka jälkeen painettiin laukaisukahvaa. Laukaisualusta oli siis eräänlainen katapultti.

Lennon aikana tärkeimpänä tehtävänä oli seurata lennokin etenemistä taivaalla. Etenemistä pystyi seuraamaan myös tablet-PC:n näytöltä.

Lento kesti noin puoli tuntia ja sujui ilman ongelmia. Tässä ajassa lennokka lensi 14 jonoa ja otti yhteensä 588 kuvaa. Laskeutumisen aikana täytyi olla tarkkana, ettei laskeutumispaikalle satu tulemaan esimerkiksi työkoneita tai leikkiviä lapsia.



Kuvio 5. Lentoreitti ladattuna Google Earth:ssä

Suunnitelmien mukaan sujuneen laskeutumisen jälkeen tarkistettiin, että kamera oli toiminut niin kuin pitää ts. ottanut kuvia. Tämän jälkeen kuvat siirrettiin kameran muistikortilta ja kuvauksen lokitiedostot lennokin eboxilta tablet-PC:lle.



Kuvio 6. Gatewing X100 valmiina laukaisuun.

### 5.3.3 Prosessointi

Aikataulujen vuoksi Sinetän kuvien prosessointia ei ehditty tehdä Rovaniemellä. Geotrimin Miika Kostamo prosessoi kuvauksen myöhemmin ja toimitti datan USB-tikulla. Toimitettu data sisälsi ortokuvan (ortokuvamosaiikki) lisäksi signalointi- ja lentotiedot, yksittäiset kuvat sekä pistepilviaineiston. Lentotiedot sisälsivät mm. kuvanottohetket ja kuvanottoaikkojen koordinaatit.

Prosessointi tapahtuu suurimmilta osin automaattisesti. Tärkeitä työvaiheita ennen varsinaisten lopputuotteiden tekoa ovat kuva-asemien säätö kuvien yhteisiä pikseleitä käyttäen ja kuva-asemien säätö käyttäen signaaleja. Kuva-asemien säätö signaaleilla on manuaalinen työvaihe, siinä käyttäjä osoittaa signaalin keskipisteen hiiren osoittimella niin monesta kuvasta kuin mahdollista. Tärkeää on myös varmistaa ennen prosessointia, että on valittu oikea koordinaattijärjestelmä. Prosessointi voidaan suorittaa myös useamman lennon aineistoille kerralla.

Prosessointiaika on 2-5 tuntia riippuen alueen pinta-alasta ja kuvamäärästä. Lopputuotteiden, kuten ortokuvan, tekemiseen menee Geotrimin Ulf Fransmanin mukaan aikaa vielä saman verran.

#### **5.4 Koelennosta tuotettu ortokuva**

Vaikka koelennolta saatiin ortokuvan lisäksi myös pintamalli, keskityn käsittelemään vain ortokuvaa, koska sen hyödyntäminen on käsiteltävässä aiheessä oleellista. Maanmittauslaitoksen maastotietotuotannossa korkeusmallit tuotetaan laserkeilauksella. Keilausaineisto kattaa jo suurimman osan Suomen rakennetusta alueesta, eli näinollen UAV-kuvauksesta saadun korkeusmallin hyödyntäminen olisi tarpeellista vain joissakin erikoistapauksissa kuten kaivosalueilla.

Lennosta tuotettu ortokuva, joka oli JPEG-formaatissa, kattoi n. 0,8 neliökilometrin alueen ja oli pikselikooltaan 5cm. Kuva oli ns. tosiortokuva, jossa kaikki kohteet ovat ortogonaaliprojektiossa.



## 6 KOETYÖN AINEISTON VERTAILU MML:N AINEISTOON

### 6.1 Tarkkuus ja laatu

#### 6.1.1 Toimenpiteet ennen vertailua

Kuva-aineistojen vertailua varten mittasin Trimble R10 Gps-laitteistolla yhdeksän, ortokuvalta selvästi erottuvaa, yksikäsitteistä kohdetta koalueelta. Kohteita olivat mm. tiemerkinnyt ja asfaltin- tai pihakiveyksen reunat. Mittaus tapahtui VRS-mittauksena, eli virtuaalista tukiasemaa käyttäen. Näille kohteille saatuja GPS-koordinaatteja vertasin sitten UAV- lennon ja MML:n ortokuvista mitattuihin koordinaatteihin.

JAKOMTJ toimii ETRS-35FIN-koordinaattijärjestelmässä. GPS-laitteella mitatut koordinaatit, signaalipisteet ja vertailupisteet, olivat puolestaan ETRS-GKn- järjestelmässä. Tämän vuoksi GPS-pisteet piti ensin muuntaa Geodeettisen Laitoksen koordinaattimuunnospalvelussa ETRS-35FIN-järjestelmään.

**Syötteen ominaisuudet**

**Koordinaatisto**

Datumi: ETRS89

Koordinaatisto: ETRS-GKn (Taso)

Korkeusjärjestelmä: N2000

Projektiokaista: ETRS-GK25

Kuvaus

Tekstitiedosto Näppäimistö

**Muuttujia tekstitiedostoja varten**

Kulman muotoyksikkö

Otsakerivien määrä: 0

Desimaalierotin:  piste  pilkku

Käytä tunnistetta

Koordinaatit käänteisesti

Valitse tiedosto, joka sisältää muunnettavat koordinaatit:

Selaa...

Muunna

**Vasteen ominaisuudet**

**Koordinaatisto**

Datumi: ETRS89

Koordinaatisto: ETRS-TM35FIN (Taso)

Korkeusjärjestelmä: N2000

Projektiokaista: ETRS-TM35FIN

Kuvaus

Tekstitiedosto Näyttö

Itä-koordinaatti [m]	Pohjois-koordinaatti [m]	Korkeus [m]
431768.1216	7393055.7833	95.9820
431890.1203	7392822.4112	94.7660
432067.6508	7392730.6626	88.1230
432305.1354	7392729.0561	86.6660
432272.9372	7392924.5143	86.2580
432209.2327	7392565.5192	89.6880
432417.2782	7392652.1349	87.5640
432501.7648	7392559.3126	88.6200
432558.9099	7392410.4886	94.8610

Kuvio 7. Geodeettisen laitoksen koordinaattimuunnospalvelu.

Muunnoksen jälkeen ortokuva esiteltiin JAKOMTJ:ssä neljän vastinpisteen avulla. Nämä pisteet olivat neljä signaloitua pistettä, jotka osoitettiin mahdollisimman tarkasti kuvalta. Näin saaduille kuvakoordinaateille syötettiin sitten GPS:llä mitatut tarkat koordinaatit vastinarvoiksi. Ohjelma ilmoitti tämän jälkeen esittelyn tarkkuuden pistevirheinä kunkin vastinpisteen osalta sekä kes-

kivirheen. Tässä tapauksessa keskivirheeksi tuli X- koordinaateilla 0,003m ja Y-koordinaateilla 0,015m.

### 6.1.2 Ortokuvien tarkkuuden vertailu

Lennokilla tuotetun ortokuvan tarkkuutta analysoin vertaamalla yhdeksän vertailupisteen kolmella eri tavalla mitattuja koordinaatteja. Mittasin pisteille koordinaatit GPS:llä, lennokiortokuvalta ja MML:n ortokuvalta.

Kun vertailukohtana käytettiin GPS- laitteella mitattuja koordinaatteja, sain mitattua vertailupisteiden koordinaatit, sekä X että Y, lennokiortokuvalta 0,10m:n keskiarvotarkkuudella. MML:n ortokuvalta mitattaessa samoille pisteille tuli eroa GPS-koordinaatteihin keskimäärin 0,255m X ja 0,422m Y-koordinaateissa.

Kahta pistettä, pisteitä 2 ja 5, ei pystynyt MML:n ortokuvalta havaitsemaan. Tämä johtui siitä, että toinen pisteistä jäi rakennuksen varjoon ja toinen kohde oli niin uusi, ettei sitä vielä ollut MML:n kuvassa. Vertailussa jätin ko. pisteet huomioimatta.

Taulukko 1. Koordinaattitaulukko vertailupisteiden mittauksista

Piste	GPS-mittaus		MML:n ortokuva				Lennokiortokuva			
	X	Y	X	Y	Ero (m)		X	Y	Ero (m)	
1.	7393055,783	431768,122	7393055,894	431767,777	0,111	0,345	7393055,873	431768,164	0,090	0,042
2.	7392822,411	431890,120	-	-			7392822,433	431890,040	0,022	0,080
3.	7392730,663	432067,651	7392731,096	432066,976	0,433	0,675	7392731,029	432067,447	0,366	0,204
4.	7392924,514	432272,937	7392924,599	432272,426	0,085	0,511	7392924,550	432272,902	0,036	0,035
5.	7392729,056	432305,135	-	-			7392729,034	432305,048	0,022	0,087
6.	7392565,519	432209,233	7392565,332	432208,233	0,187	1,000	7392565,423	432208,939	0,096	0,294
7.	7392652,135	432417,278	7392651,956	432417,127	0,179	0,151	7392652,066	432417,269	0,069	0,009
8.	7392410,489	432558,910	7392410,194	432558,668	0,295	0,242	7392410,307	432558,905	0,182	0,005
9.	7392559,313	432501,765	7392559,809	432501,737	0,496	0,028	7392559,266	432501,626	0,047	0,139
				Keskiarvo	<b>0,255</b>	<b>0,422</b>		Keskiarvo	<b>0,103</b>	<b>0,100</b>

Vertailtaessa lennokokuvaa ja MML:n kuvaa, sain keskiarvoeroksi X-koordinaateilla 0,142m ja Y-koordinaateilla 0,361m. Huomioitavaa tässä vertailussa on, että kuvamittausten tulokset ovat ainoastaan minun mittaamiani havaintoja – tarkemmat arvot olisi saanut, jos mittaukset olisi tehnyt esim. viisi eri henkilöä ja laskenut tulosten keskiarvon. En kuitenkaan usko, että mittausten marginaalit olisivat olleet niin suuria, että sillä olisi ollut merkittävää vaikutusta nyt saamiini tuloksiin. Toinen UAV- ortokuvan tarkkuuteen vaikuttava asia on edellä kuvattu vastinpisteiden mittaus, mutta kun ohjelma

ilmoittaa heti pistevirheet, voidaan karkeat virheet havaita välittömästi ja suoritaa kuvan esittely uudelleen.

Taulukko 2. Koordinaattitaulukko ortokuvilta mitatuista vertailupisteistä.

Piste	MML:n ortokuva		Lennokkiortokuva		Ero (m)	
	X	Y	X	Y	X	Y
1.	7393055,894	431767,777	7393055,873	431768,164	0,021	0,387
2.	-	-	7392822,433	431890,040		
3.	7392731,096	432066,976	7392731,029	432067,447	0,067	0,471
4.	7392924,599	432272,426	7392924,550	432272,902	0,049	0,476
5.	-	-	7392729,034	432305,048		
6.	7392565,332	432208,233	7392565,423	432208,939	0,091	0,706
7.	7392651,956	432417,127	7392652,066	432417,269	0,110	0,142
8.	7392410,194	432558,668	7392410,307	432558,905	0,113	0,237
9.	7392559,809	432501,737	7392559,266	432501,626	0,543	0,111
				Keskiarvo	<b>0,142</b>	<b>0,361</b>

### 6.1.3 Erotuskyky

Lennokilla otetun ortokuvan erotuskyky on erinomainen, koska kuvan maastoresoluutio on 5 cm. Kuvalta voi havaita esimerkiksi rakennustyömaalla yksittäiset laudat. MML:n kannalta tärkeämpää kuvalta saatavaa informaatiota ovat esimerkiksi tiestön päällystetieto ja johtoyhteydet, joita MML:n tavallisilta ilma- ja ortokuvilta on vaikea erottaa.

Erotuskyvyn lisäksi UAV- kuvan etuna on, ettei siinä näy varjoja kuten MML:n ortokuvassa. Varjot peittävät kohteita ja voivat aiheuttaa sijaintiepätarkkuuksia esimerkiksi rakennusta mitattaessa: Varjon vuoksi rakennuksen toisen sivun ulottuvuus jää epävarmaksi, varsinkin jos kattomateriaali on musta.

Ao. kuvista varjojen vaikutus käy selvästi ilmi. Kuvissa näkyy lippumerkintänä mittaamani vertailupiste, asfaltin kulma. Ylemmässä, UAV-ortokuvassa kohde näkyy selkeästi, mutta alemmassa se jää varjon alle. Kuvaparista näkee myös esimerkin yllämainitusta johtoyhteyksien erottamisesta: UAV- kuvassa näkyy selkeästi sähkölinjan sijaintivirhe, mutta tavallisesta ortokuvasta virhetä on vaikea havaita.





Kuvio 8. UAV-lennokilla otettu ortokuva.



Kuvio 9. MML:n ortokuva.

## 7 VERTAILU JATKUVAAN AJANTASAISTUKSEEN

### 7.1 Tavoite

Vertailun tarkoituksena oli selvittää, mikä on se kartoitettavien kohteiden määrä noin 4-5 neliökilometrin alueella, jolloin lennokilla tehtävä kartoitus olisi tehokkaampi tapa saada kohteet mitatuiksi verrattuna GPS- laitteilla mitaamiseen.

Vertailussa selvitin GPS-mittaukseen perustuvan tiedonkeruun ajankäyttöä ja tehokkuutta, eli päivässä saatavan paikkatiedon määrää. Näitä vertasin sitten UAV-lennon vastaaviin. Lisäksi vertailin molempien menetelmien etuja, haittoja ja kustannuksia.

### 7.2 Ajankäyttö GPS - mittauksessa

GPS- mittaukseen kuluva maasto- ja sisätyöaika selvitin kysymällä ko. töitä Lapin Maanmittaustoimistossa tekevältä Kristiina Kuuselta:

- Paljonko menee aikaa kahden rakennuksen mittaamiseen (ns. yksi pihan, jossa kaksi rakennusta, jolloin tarvetta autolla liikkumiseen ei ole)?
- Paljonko menee aikaa seuraavalle kohteelle siirtymiseen keskimäärin?
- Paljonko menee aikaa kilometrin pituisen tien mittaamiseen?
- Paljonko menee aikaa mittausten siirtämiseen tietokantaan?

Edellä olevien kysymysten lisäksi halusin mielipiteen UAV-ortokuvasta, pitääkö alueella kuvauksesta huolimatta käydä tarkistamassa jotain, ts. voiko kuvasta päätellä tarvittavat ominaisuustiedot, kuten rakennusten luokat ja teiden päällystetiedot.

Haastattelun perusteella yhden pihan mittaamiseen GPS:llä. menee aikaa keskimäärin noin 10 min. ja seuraavalle kohteelle siirtymiseen n. 5 min. Kilometrin mittaisen tien mittaamiseen kuluu aikaa autolla n. 5 min ja kävellen n. 25 min. Tien kävellen kartoittaminen voi johtua esimerkiksi puomista tai että tie on vielä rakenteilla eikä autolla ajettavissa. Mittausdatan siirto tietokantaan ilman sovittamista tietokannan muihin kohteisiin vie aikaa noin 30 min/ tiedosto. Kun sovittaminen otetaan mukaan, voidaan Kuuselan mukaan yleissääntönä pitää, että yhden maastopäivän mittaukset vaativat yleensä yhden sisätyöpäivän.

Edellä olevilla ajoilla ja kohteen kahden rakennuksen oletuksella laskettuna yhden 7,25h työpäivän aikana ehtisi mitata 58 rakennusta:

Siirtyminen ja mittaus/työpäivä:  $435 \text{ min}/15 \text{ min}=29$  kohdetta,  $29*2=58$  rakennusta.

Jos alueella on lisäksi mitattavaa liikenneverkkoa (tie, katu, pyörätie) esimerkiksi kolme eri kohdetta, joiden keskimääräinen pituus 250 metriä, on niiden mittaamiseen kuluva aika noin 14 min autoa käyttäen. Jos yksi kolmesta kohteesta mitataan kävellen, on mittausaika tällöin noin 25 min.

Mittausaika autolla/kohde:  $1,25 \text{ min}*3=3,75 \text{ min}$

Siirtyminen kohteiden välillä:  $2*5 \text{ min}=10 \text{ min}$

**Yhteensä:**  $10 \text{ min}+3,75 \text{ min}=13,75 \text{ min}\approx 14 \text{ min}$

Mittausaika yksi kohde kävellen, muut autolla:  $12,5 \text{ min}+2*1,25 \text{ min}=15 \text{ min}$

Siirtyminen kohteiden välillä:  $2*5 \text{ min}=10 \text{ min}$

**Yhteensä:** 25 min

Tapauksessa, jossa olisi rakennusten lisäksi myös edelläkuvattu tiestön mitaus, kolme kohdetta, joista yksi kävellen mitattava, ehtisi työpäivän aikana mitata tiestön lisäksi 54 rakennusta.

Edellä lasketut arviot ovat vain suuntaa-antavia, koska maastotöissä on aina paljon muuttujia, joita ei voi tarkoin ottaa huomioon. Esimerkiksi on vaikeaa arvioida, paljonko aikaa menee kanssakäymiseen kyselemään tulleiden ihmisten kanssa. Jonain päivänä ei ehkä kukaan tule juttelemaan, kun taas toisena päivänä lähes joka kohteella täytyy selittää, mitä on tekemässä ja miksi. Tämän vuoksi em. kohdemäärät ovat mielestäni lähellä mahdollista maksimiarvoa, joka työpäivän aikana on enintään mahdollista mitata. Arvioin päiväkohtaisen mittauskohteiden määrän liikkuvan keskimäärin noin 40-50 kohteessa.

UAV- kuvasta saatava informaatio jatkuvaan ajantasaistukseen on Kuuselan mukaan hyvä. Tiestön päällystetiedon näkee kovalta samoin kuin tiet, joista

MML ei ole saanut vihjetietoa. Rakennuksista tulee huomioitua paremmin puretut rakennukset ja RHR:n rakennuslupa-sijaintipisteiden perusteella tehtävät tarkistuskäynnit, joissa tarkistetaan onko alettu rakentamaan, jäävät pois. Maastotietokannan muun, olemassa olevan, aineiston sovittaminen uusiin kohteisiin on helpompaa ja varmempaa. Jos esimerkiksi uusi rakennus rakennettu pellolle, pellon uuden reunan näkee kuvalta eikä sitä tarvitse korjata ”suurin piirtein” kartan tai vanhan ilmakuvan perusteella.

### 7.3 Ajankäyttö UAV-kuvauksessa

Yhden UAV- lennon suorittaminen kestää 1-1,5 tuntia. Valmisteluihin, signaalien viemiseen ja mittaamiseen sekä lähtö- ja laskeutumipaikan valintaan menee arviolta noin tunti. Näillä ajoilla olisi työpäivän aikana mahdollista suorittaa 4-5 lentoa.

Kartoitusalueen koko 10 cm:n resoluutiolla on suurimmillaan 3 km<sup>2</sup>/lento. Tällöin päivässä olisi mahdollista kuvata 12 km<sup>2</sup>.n alue (neljä lentoa). Huomioitavaa on kuitenkin se, että kuvausalueen suurentaminen vaatii lentokorkeuden nostamista ja kuten kohdassa 2.4 mainittiin, yli 150 metrin korkeudella lennätettäessä vaaditaan suljettu ilmatila. Tämä käytännössä rajaa UAV-lennokin kartoitusalueen 1,5 km<sup>2</sup>/lento, ellei ryhdy aikaa vieviin lupamenettelyihin.

5 cm:n resoluutiolla kartoitusalueen koko yhdellä lennolla on 1, 5 km<sup>2</sup>. ja tällöin myös lentokorkeus pysyy alle 150 metrin. Neljällä lennolla päivässä ehtisi näin kuvata 6 km<sup>2</sup>:n alueen.

Edellä mainitut kuvausalueiden koot eivät ole saavutettavissa jokaisella lennolla. Tähän vaikuttaa mm. näkyvyysolosuhteet – Lennokin on oltava koko ajan lennättäjän näköpiirissä. Myös M. Kostamo kertoi, että yleensä kartoitettava alue on noin neliökilometrin kokoinen alue (5 cm:n maastoresoluutio). Tällöin päivän aikana ehtisi kartoittaa noin 4-5 km<sup>2</sup>:ä. Tämän perusteella päättelen, että 10 cm:n resoluution kuvaus-alue päivässä olisi noin 8 – 10 km<sup>2</sup>.

Kuvien prosessointi vie 2-5 tuntia, ortokuvan valmistus saman verran ja signaalipisteiden koordinaattimuunnokset sekä ortokuvan esittely JA-KOMTJ:ssä noin puoli tuntia. Tämä tarkoittaa sitä, että lennon aineiston

saamiseen käytettäväksi menee yksi työpäivä. Varsinainen kuvamittaus on nopeaa, koko kuvan kaikkien, ei pelkästään uusien kohteiden, läpikäyminen vie korkeintaan tunnin.

#### **7.4 Kustannukset**

Maanmittauslaitoksella yhden GPS- laitteiston käyttökustannuksiksi päivässä tulee noin 10 euroa. Hintaan sisältyvät laitevuokran lisäksi VRS-lisenssi ja Elisan ja Soneran yhteismaksut.

UAV-laitteistoista ei tietenkään em. kaltaista vuokrasopimusta ole, joten käyttökustannuksia ei siten voi suoraan verrata. Laitteistojen hinnat vaihtelevat 7000-60000 euron välillä, eli hintahaitari on laaja. Jos laskee UAV-laitteiston käyttökustannukset päivää kohti siten, että ostaisi koko laitteistopaketin, lasiksi käyttöajaksi neljä vuotta ja ottaisi lisäksi huomioon varaosatarpeet, tulisi tässä työssä käytetyn laitteiston päiväkustannuksiksi saamani hinta-arvion perusteella noin 27 euroa. Lisäksi on huomioitava, että lentoa varten tehtyjen signaalien mittaamiseen tarvitaan GPS-laitetta, eli kustannuksiin voi lisätä em. 10 euron GPS-kustannukset.

Edellä olevien päiväkustannusten perusteella GPS-mittauksen maastotyön hinnaksi tulee 0,2 euroa/kohde, kun päiväkohtaisena mittausmääränä käytetään 50 kohdetta. Samat 50 kohdetta kustantaisivat lennokokartoituksena 0,74 euroa. Kustannuksiin on tietenkin laskettava mukaan kartoittajan palkka ja päivärahat. Kun kohdemäärä 4 – 5 km<sup>2</sup> alueella on suurempi, tarkoittaisi tämä, että GPS-mittausta täytyy jatkaa toisena päivänä. Tällöin kustannukset GPS - maastotyön osalta nousisivat, mutta lennokokartoituksen osalta pysyisivät samana.

Esimerkki: Alueen kohteiden kartoitukseen GPS-laitteistolla menee kaksi päivää, mittaja majoittuu työalueella. Päivärahat ovat 38 euroa kokopäiväraha ja 17 euroa puolipäiväraha. Mittaajan työnantajakustannukset ovat n. 4200 euroa/kk. ≈ 140 euroa/päivä, kun mittajan tuntipalkka on 16 euroa. UAV:llä alueen kuvaamiseen menee yksi päivä.

Taulukko 3. Kustannusvertailuesimerkki

	UAV	GPS
Palkka €	140	280
Päiväraha €	17	55
Laitteisto €	37	20
Yhteensä €	194	355

Tässä tapauksessa sisätöiden – kohteiden vienti tietokantaan, vie kohdissa 6.1 ja 6.2 käsiteltyjen ajankäyttöjen mukaan GPS-mittauksesta kaksi työpäivää eli 14,5 tuntia. UAV-kuvauksesta kohteet saadaan tietokantaan 8,25 tunnissa – yksi päivä, 7,25 h, kuvauksien prosessointiin ja siirtoon JA-KOMTJ:ään ja yksi tunti kohteiden digitointiin.

Kokonaiskustannuksiksi muodostuisi näin GPS-mittauksessa 635 euroa – Kaksi maastotyöpäivää ja kaksi sisätyöpäivää. UAV-kuvauksessa kustannukset olisivat 356 euroa – Yksi maastotyöpäivä ja 8,25 tuntia sisätöitä.

## 7.5 Kartoitusprosessien vertailu

### 7.5.1 Olosuhteet

Olosuhteiden merkitys on GPS -mittauksessa huomattavasti vähäisempi kuin UAV- kuvauksessa. GPS:llä mitattaessa sääolosuhteilla ei ole merkitystä, mutta lennökkikartoituksessa sade ja tuuli/tuulenpuuskat voivat haitata tai jopa estää työnteon. Kartoitusalueen olosuhteilla, maastonmuodoilla, rakennelmilla ja liikenteellä ei myöskään ole GPS-mittaukseen juuri vaikutusta, mutta UAV-kuvauksessa ne täytyy huomioida lähtö, - ja laskeutumipaikan valinnassa ja kuvausalueen suunnittelussa (näköyhteys lennokkiin).

### 7.5.2 Saatava informaatio

GPS-mittaukseen perustuvassa maastotiedonkeruussa saadaan tarkkaa XY(Z) – koordinaattitietoutta ja ominaisuustietoa siltä osin, kuin kartoittaja niitä tallentaa. Jatkuvassa ajantasaistuksessa kerättäviä ominaisuustietoja ovat mm. tiestön ja rakennusten luokat, tiestön päällystetiedot ja ajo –

oikeudet kuten yksisuuntaisuus ja muut liikennemerkein määrätyt rajoitukset, esim. Tonteille ajo sallittu.

UAV-ortokuvasta saadaan selville kaikki uudet rakennetut ja puretut kohteet. Tiestön osalta päällystetiedon pystyy erottamaan kuvalta, eikä mahdolliset tien esterakennelmat haittaa, mutta liikennemerkein määrätyt rajoitukset täytyy tarkistaa maastossa. Lisäksi kuvalta näkee kaikki muutkin maastotietokannan kohteet, jotka voi tarvittaessa korjata. Kohteiden koordinaatit eivät ole yhtä tarkkoja GPS-mitattuihin verrattuna (prosessointi, koordinaattimuunnokset), mutta tarkkuus silti parempi tavallisesta lennosta tuotetun ortokuvan tarkkuuteen verrattuna.

### 7.5.3 Tehokkuus

UAV-kuvaus on nopeampi ja siten kustannustehokkaampi tapa kartoittaa 4-5 km<sup>2</sup> alue, jos alueella on yli 50 tarkistuskohdetta. Tällaisia alueita voisivat olla esimerkiksi uudet asuinalueet ja tunturikeskukset.

Harvaan asutuilla alueilla, missä tarkistettavien kohteiden etäisyys on useita kilometrejä, ei lennokkia kannata käyttää. Kesämökki, sauna ja tienpätkä on järkevää mitata GPS:llä.

Sisätyössä ortokuvalta digitoiminen on huomattavasti nopeampaa, kuin suuren GPS-mittaustiedoston sovittaminen maastotietokantaan. Kuten maastotöissä, sisätyössäkin tehokkuus korostuu, kun kohdemäärä suurempi. Kun GPS- mittaustiedostojen sovittaminen on 1/1 maastotöissä kuluvan ajan kanssa, UAV-kuvauksesta tiedot saadaan tietokantaan 1-2 tunnissa prosessoinnin jälkeen.

## 8 YHTEENVETO

### 8.1 UAV Jatkuvassa ajantasaistuksessa

Koetyö osoitti UAV-lennokkikartoituksen soveltuvan hyvin maastotietokannan ajantasaistukseen rakennetulla, noin 5 km<sup>2</sup> alueella. Kuvauksesta tehty ortokuva oli vertailussa MML:n aineistoihin laadultaan ja tarkkuudeltaan hyvä ja siitä mitatut sijaintitiedot alittavat reilusti tämänhetkisen maastotietokannan ns. tarkalle tiedolle luvatus 3 metrin sijaintitarkkuuden.

UAV-kuvaus ei tule syrjäyttämään GPS-mittausta jatkuvan ajantasaistuksen tiedonkeruussa, mutta tiheästi rakennetuilla alueilla, missä GPS-mittaukseen kuluisi enemmän kuin päivä, olisi UAV-kuvaus laskelmieni perusteella jo tehokkaampaa.

Uusista kohteista saatavan vihjetiedon merkitys ei olisi kuvattavalla alueella niin suuressa roolissa kuin nykyään. Kuvalta näkisi kaikki kohteet olipa niistä vihjetietoa tai ei.

### 8.2 Ajatuksia UAV:n käytöstä Maanmittauslaitoksessa

Käsittelin lennokkikartoitusta jatkuvan ajantasaistuksen näkökulmasta, mutta koska lopputuotteesta, ortokuvasta, saa informaatiota maastotietokannan muuhunkin aineistoon, kannattaisi sitä hyödyntää. Ajatuksena esimerkiksi, että kuntakeskus tai hiihtokeskus kuvattaisiin vuosittain ja kuvauksesta päivitetäisiin kaikki maastotietokannan kohteet. Näin ko. alueilla ei olisi tarpeen tehdä MML:n määräaikaista ajantasaistusta lainkaan. Tällä olisi vaikutusta myös MML:n tavalliseen ilmakuvustoimintaan, kun viiden vuoden ajantasaistuskierrossa olevia alueita (kaupungit, taajamat) ei välttämättä tarvitsisi kuvata niin usein. Tällaisia tapauksia olisi pinta-alaltaan pienehköt keskukset, joiden lähiympäristössä ei juuri ole muutoksia tapahtunut viidessä vuodessa. Kustannussäästöt olisivat merkittäviä, koska tavallisen ilmakuvauksen kustannukset ovat moninkertaisia UAV- kuvaukseen verrattuna.

En käsitellyt tässä lainkaan UAV-kuvauksesta saatavaa maastomalliaineistoa. Senkin hyödyntämistä voisi ajatella jo laserkeilatuilla alueilla, missä maanpinta on huomattavasti muuttunut keilauksen jälkeen. Tällaisia alueita olisivat esimerkiksi kaivosalueet tai tietyöalueet, missä on rakennettu penkereitä ja leikkauksia.



Lennoikkikuvausta voisi hyödyntää myös toimitustuotannossa. Halkomistoimittuksessa tilasta laaditaan kartta, jossa kuvataan erilaiset tiluskuviot, erilaiset metsiköt, peltolohkot ja rakennuspaikat. Tällaisen kartan laadintaan lennokka olisi mielestäni hyvä väline tarkkuutensa ja toimintasäteensä vuoksi. Toinen mahdollinen hyödyntämiskohde voisivat olla tilusjärjestelyt esimerkiksi Pohjanmaalla, missä laajat peltoaukeat soveltuvat hyvin lennokilla kuvattaviksi.

## 9 LÄHTEET

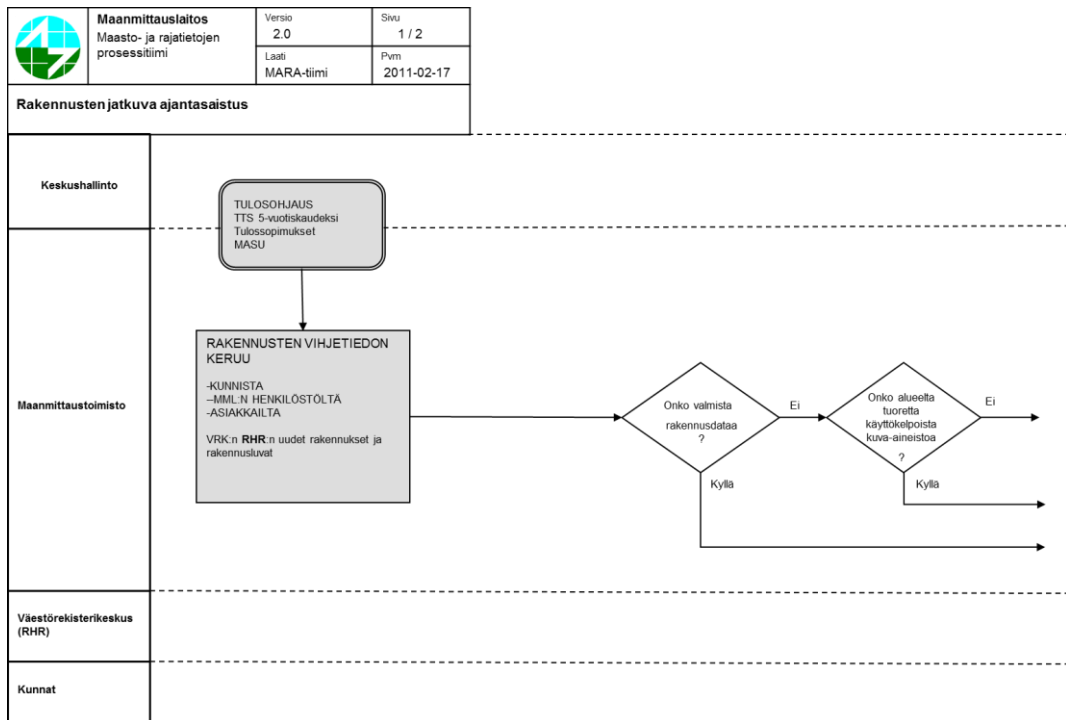
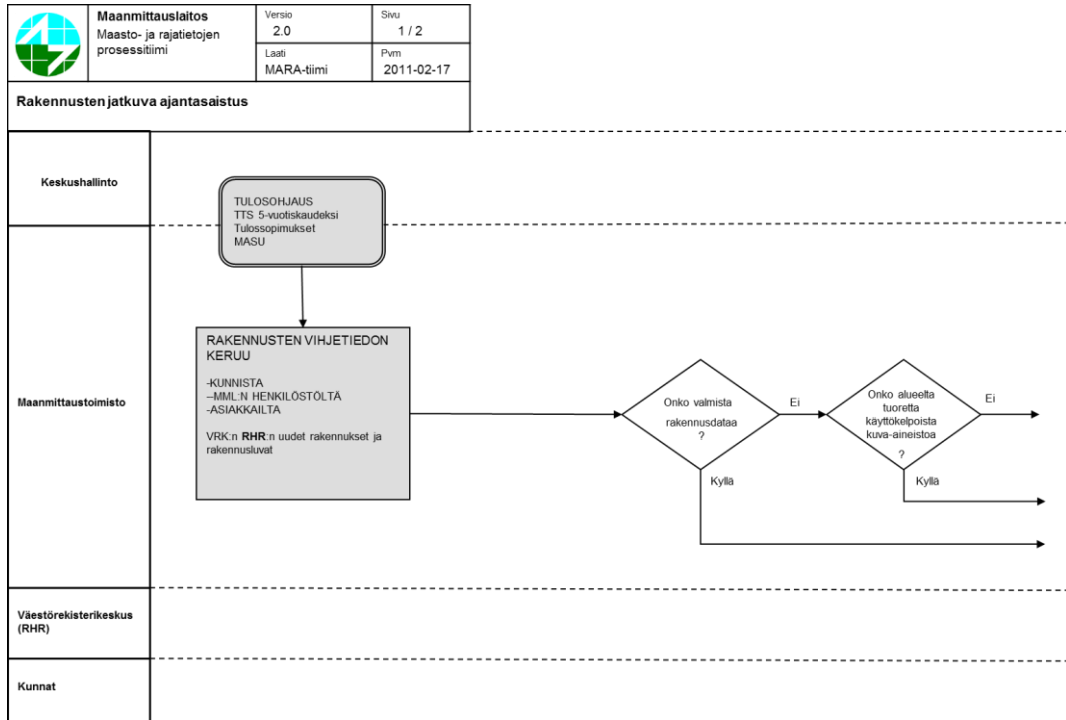
- Finlex 2013. Osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/> (8.4.2013)
- Fotogrammetrian ja Kaukokartoituksen Seura 2005. Ohjeita ortokuvien tuotannolle ja käytölle Suomessa. Julkaisu 1/2005
- Geotrim 2013. Osoitteessa <http://www.geotrim.fi/> (5.4.2013)
- Haggrén, H. 2002. – Honkavaara, E. 2005. Ortokuvien tuottaminen – luentomoniste 7. Aalto Yliopisto.
- Haggrén, H. – Rönholm, P. 2004. Kolmiointi – luentomoniste 8. Aalto Yliopisto
- Haggrén, H. 2008. Johdanto valokuvaukseen, fotogrammetriaan ja kaukokartoitukseen – luentomoniste 10. Aalto Yliopisto.
- Honkavaara, E. – Markelin, R. – Nurminen, K. 2011. Digitaalinen ilmakuvauus ja sen mahdollisuudet. Artikkel. The Photogrammetric Journal of Finland, Vol.22, No.3, 2011. Osoitteessa [http://foto.hut.fi/seura/julkaisut/pjf/pjf\\_e/2011/PJF2011\\_3\\_Honkavaara\\_et\\_al.pdf](http://foto.hut.fi/seura/julkaisut/pjf/pjf_e/2011/PJF2011_3_Honkavaara_et_al.pdf)
- Ilves, Risto 2009. Digitaalinen ilmakuvauus lunasti lupauksensa. Positio 4/2009.
- Isotalo, Katri 2011. Uusia asiakkaita ilmakuvaukselle. Positio 3/2011.
- Laurila, Pasi 2008. Kaukokartoituksen perusteet – opetusmoniste. Rovaniemen Ammattikorkeakoulu.
- Lehtonen, Pekka 2013. Suomalainen laserkeilaus on maailman huippua. Maankäyttö 2/2013
- Maanmittauslaitos 2003. Kaavoitusmittausohjeet. Julkaisu n:o 94
- Maanmittauslaitos 2013. Osoitteessa <http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/ilmakuvat>
- Maanmittauslaitos 2013. Prosessin käsikirja. Maasto- ja rajatietotuotannon ydinprosessi. Versio 1.10. 17.2.2011.
- Puupponen, Jyrki 2008. Miehittämätön lentoalus kartoittaa vaaralliset kohteet. Positio 3/2008.
- Saarinen, Lauri 2007. Suuriformaattiset digitaaliset ilmakuvakamerat. Fotogrammetrian, kaukokartoituksen ja kuvantulkinnan seminaari – esitelmä. Aalto Yliopisto.
- Trimble 2013. Osoitteessa <http://uas.trimble.com/> (5.11.2013)

**10 LIITTEET**

LIITE 1. MAANMITTAUSLAITOKSEN ILMAKUVVAUSPROSESSIKAAVIO .....	37
LIITE 2. MAANMITTAUSLAITOKSEN JATKUVAN AJANTASAISTUKSEN PROSESSIKAAVIO, RAKENNUKSET. ....	38
LIITE 3. MAANMITTAUSLAITOKSEN JATKUVAN AJANTASAISTUKSEN PROSESSIKAAVIO, TIESTÖ.....	39



Liite 2. Maanmittauslaitoksen jatkuvan ajantasaisuuden prosessikaavio, rakennukset.



Liite 3. Maanmittauslaitoksen jatkuvan ajantasaistuksen prosessikaavio, tiestö.

