

Ari-Pekka Jokinen

# UAV-kuvaus kiviainesten kartoituksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriytyö

14.3.2014

Tekijä Otsikko	Ari-Pekka Jokinen UAV-kuvaus kiviainesten kartoituksessa
Sivumäärä Aika	35 sivua + 2 liitettä 14.3.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaajat	talouspäällikkö Tero Sohkanen lehtori Jussi Laari
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli selvittää miehittämättömien ilma-alusten soveltuvuutta kiviainesmäärien kartoitukseen sekä luoda yleiskuva UAV-laitteiden toiminnasta. Työ tehtiin projektina Destia Oy:n kiviainesyksikölle.</p> <p>Työn tekemiseksi suoritettiin ilmakehu UAV-laitteella Destia Oy:n Murrin kiviainestenottoalueella Pornaisissa. Kuvauksessa käytettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun senseFly swingle CAM -lennokkia. Vertailupohjan luomiseksi kohdealueen kiviaineskasat kartoitettiin myös GPS-kartoituksena.</p> <p>UAV-kuvauksen soveltuvuutta kiviainesmäärien kartoitukseen pohdittiin vertailemalla sekä eri mittaus- ja laskentamenetelmillä saatuja tilavuustietoja että ajallisia eroja. Työtä tehdessä havaittiin, että lennökkikuvauksella pystytään kartoittamaan tehokkaasti kiviaineskasojen tilavuuksia, minkä lisäksi kohdealueelta saatava ortokuva tarjoaa ajantasaisen kuvan alueen tilanteesta.</p> <p>Vaihtelevien sääolojen vaikutus lennättämiseen ja lennokin mahdollinen vaurioituminen ovat UAV-laitteiden heikompia puolia, mutta suhteutettuna miehittämättömien ilma-alusten vahvuuksiin voidaan todeta UAV-kartoituksen olevan hyvin soveltuva kartoitusmenetelmä kiviainesmäärien selvittämiseen.</p>	
Avainsanat	UAV, UAS, kaukokartoitus

Author Title	Ari-Pekka Jokinen UAV mapping in rock material surveying
Number of Pages Date	35 pages + 2 appendices 14 March 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Specialisation option	
Instructor(s)	Tero Sohkanen, Financial Manager Jussi Laari, Senior Lecturer
<p>The Purpose of this Bachelor's thesis was, firstly, to find out how UAV devices can be used in rock material surveying and, secondly, to create an overall image of how they work.</p> <p>The target area for the study was an aggregate area located in Murto, Pornainen. An aerial photography was made on the target area to study the applicability of UAV devices in rock material surveying. The mapping was done with a senseFly SwingletCAM drone. The rock materials in the target area were also surveyed by using GPS mapping to act as a baseline for the UAV mapping.</p> <p>The main comparison between the different surveying methods focused on the differences in volume calculation and time consumption. By observing the results of the comparison, it was deduced that UAV mapping is a fast method to survey rock materials. In addition, an up-to-date orthophoto of the target area was achieved.</p> <p>As a conclusion, even if the weather conditions posit certain restrictions for the feasibility of UAV devices and they are vulnerable to collisions, they are highly applicable in mapping the aggregate areas.</p>	
Keywords	UAV, UAS, remote sensing

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Mikä on UAV/UAS?	2
2.1	Historia	3
2.2	Toimintaperiaate	4
2.3	Käyttökohteet	6
2.4	UAV-kuvauksen ero tavanomaiseen ilmakuvaukseen	7
2.5	Lainsäädäntö	8
3	Mittaustyöt	10
3.1	Lennoikin tekniset tiedot	10
3.2	Lentovalmistelut	11
3.2.1	Signalointi	11
3.2.2	Lentosuunnitelma	15
3.3	UAV-kuvaus	16
3.3.1	Kuvauskohde ja tarkoitus	16
3.3.2	Lentoon lähettäminen ja lennon seuranta	17
3.3.3	Sään merkitys	18
3.3.4	Lennonaikaiset havainnot	19
3.4	Kuvien prosessointi	21
3.4.1	Yleistä	21
3.4.2	Pintamallin ja ortokuvan luonti	21
3.4.3	Tilavuuksien laskenta	23
3.5	VRS GPS-kartoitus	23
4	Tulosten vertailu	24
4.1	Mittausmenetelmien erot	24
4.1.1	Laskentatulosten erot	24
4.1.2	Ajalliset erot	30
4.2	Päätelmät	31
	Lähteet	34

Liitteet

Liite 1. Kasakartta Murto, Pornainen 14.6.2013

Liite 2. Kasojen tilavuudet, Photoscan

## Lyhenteet

GPS	Global positioning system. Yhdysvaltain puolustusministeriön kehittämä satelliittipaikannusjärjestelmä.
ICBM	Intercontinental ballistic missile. Maasta laukaistava ohjus, jonka kantomatka on yli 5 500 kilometriä.
JARUS	Joint authorities for rulemaking on unmanned systems. Kansallisten ilmailuviranomaisten yhteenliittymä, jonka tarkoituksena on luoda yhteisiä asetuksia miehittämättömille ilma-aluksille.
RPAS	Remotely piloted aircraft systems. Nimitys miehittämättömille ilma-aluksille ja niiden ohjausjärjestelmille.
UAV	Unmanned aerial vehicle. Ilmassa toimiva miehittämätön alus, joka lentää ennalta määrätyn reitin GPS-koordinaattien avulla tai jota ohjataan kauko-ohjaimella.
UAS	Unmanned aircraft system. Miehittämättömän ilma-aluksen toiminnassa käytettävä järjestelmä, joka käsittää lennokin lisäksi maa-aseman ja ohjausjärjestelmän.
VRS	Virtual reference station. Virtuaalinen tukiasema, joka lasketaan mittausalueelle kiinteän tukiasemaverkon havaintojen avulla.

## 1 Johdanto

Nykyisin miehittämättömiä ilma-aluksia on hyvin erilaisiin käyttötarkoituksiin. Teknologian kehittyessä on pystytty rakentamaan yhä monipuolisempiin tehtäviin soveltuvia miehittämättömiä lennokkeja. Yleisimmin UAV (Unmanned aerial vehicle) -laitteet ovat joko niin sanottuja fixed-wing-tyyppisiä yksisiipisiä lennokkeja tai helikopterin ominaisuuksin toimivia quad-, heksa- tai oktokoptereita.

Ensimmäisiä miehittämättömiä ilma-aluksia on kehitetty jo 1800-luvun puolella, mutta niiden kehitys on koko historian ajan kulkenut lentokoneiden varjossa. Vasta myöhemmin teknologian kehittyessä UAV-laitteita on todella alettu kehittää eri käyttötarkoituksiin. Pääasiallinen kehityksen syy ja käyttötarkoitus UAV-laitteille on ollut sodankäynti, mutta nykyteknologian myötä kehittyneet, entistä monipuolisemmat lennokit soveltuvat myös yhä enenevässä määrin siviilipuolelle. Miehittämättömien ilma-alusten kehityksen ohella myös erilaiset kuvausinstrumentit (kamerat, keilaimet) parantuvat ja voidaan pakata pienempään kokoon, jolloin myös lennokeilla suoritettavat kuvausmahdollisuudet laajenevat.

Kartoituskuvaukset miehittämättömillä ilma-aluksilla perustuvat hyvin pitkälti tavanomaiseen ilmakuvaukseen, jossa lennetään useita vierekkäisiä lentojonoja tietyillä kuvan pituus- ja sivupeittoarvoilla. Tiedettäessä lentokoneen ja kameran sijainti sekä kallistuskulmat kuvanottohetkellä voidaan kuvista muodostaa ortokuva jälkikäsitellyssä. UAV-kuvauksissa lentoalue on usein pieni tai keskikokoinen, jolta halutaan kartoituksen avulla saada tietoa kohdealueelta.

UAV-laitteilla työskennellessä on kuitenkin huomioitava niitä koskevat ilmailusäädökset ja -lait. Miehittämättömien ilma-alusten nopea kehitys ja yleistyminen ovat luoneet ongelman lainsäädännön kanssa, sillä lainsäädäntö laahaa merkittävästi perässä, eikä yhteisiä sääntöjä vielä ole. UAV-laitteet koetaan kuitenkin lupaavaksi uudeksi segmentiksi, jolle pyritään luomaan yhtenäinen lainsäädäntö niin Suomen kuin Euroopan tasolla.

Kiviaineskasojen tilavuuksien määrittämiseen on useita keinoja, joista GPS-kartoitus ja UAV-kuvaus ovat vain eräitä tapoja. Nämä kaksi tapaa eroavat kuitenkin toisistaan huomattavasti monella eri tavalla, ja niitä vertailemalla voidaan pohtia kummankin

menetelmän tarkkuutta, soveltuvuutta kiviainesten kartoitukseen, hyviä ja huonoja puolia sekä mahdollisia ongelmia, joita voi esiintyä kartoitustehtävissä.

Tässä työssä keskitytään enimmäkseen kevytrakenteisiin fixed-wing-tyyppisiin UAV-lennokeihin ja niiden käyttömahdollisuuksiin. Työn tarkoituksena on yleisesti valaista, mikä on UAV-laite, kuinka se toimii ja kuinka niillä voidaan kartoittaa kiviainesmääriä. Soveltuvuutta kiviainesmäärien kartoitukseen pohditaan vertailemalla UAV-kartoituksella saatuja mittaustuloksia GPS-kartoituksen mittaustuloksiin. Työ on tehty Destia Oy:n kiviaines-yksikölle, ja kartoituksen kohdealueena on Destia Oy:n Murron kiviainesten ottoalue Pornaisissa. Tuloksia tarkastellessa tulee huomioida, että datan käsittelyssä käytettyjen menetelmien lisäksi on olemassa lennokkivalmistajien ja yksityisten yritysten tarjoamia palveluita UAV-kuvien jälkikäsittelyyn, joita ei ole tässä työssä käsitelty.

## **2 Mikä on UAV/UAS?**

UAV on ilmassa toimiva miehittämätön laite, joka lentää autopilotin avulla ennalta määrätyn reitin GPS-koordinaattien avulla. UAV-laitteita on myös mahdollista ohjata radio-ohjaimen avulla. UAS (Unmanned aerial system) -nimitystä käytettäessä puhutaan koko järjestelmästä, joka käsittää lennokin lisäksi maa-aseman ja ohjausjärjestelmän. UAS-järjestelmät on alun perin kehitetty sotilaallisiin tarkoituksiin, mutta nykyisin niiden käyttö on laajentunut myös yritysten ja yksityisten käyttöön. UAV-lennokkien koko ja ominaisuudet vaihtelevat paljon käyttötarkoituksensa mukaan. Sotilaskäyttöön kehitetyt lennokit, kuten Yhdysvaltain armeijan General Atomics MQ-1 Predator painaa 500:sta 1 000 kg:aan, voi operoida 24 tunnin ajan ja lentää 1100 km, kun taas tämän työn kartoituskuvauksissa käytetty Senseflyn swinglet CAM -lennokin siipien kärkiväli on 0,8 m, paino 0,5 kg ja se voi operoida noin 30 minuutin ajan. Nykyisillä säädöksillä miehittämättömällä lennokilla voi lentää alle 150 metrin korkeudessa valvomattomassa ilmatilassa koneen ollessa aina näkyvässä. Lentokenttien läheisyydessä ja muilla alueilla, joilla on rajoitettua ilmatilaa, pääsee lentämään vain lennonjohdon luvalla. [1; 8; 13.]



## 2.1 Historia

UAV-laitteiden kehitys on koko elinkaarensa ajan ollut hyvin tiiviisti kytköksissä sodankäyntiin, sillä uuden ja paremman teknologian myötä on ollut mahdollisuus saada yliote vihollisesta. UAV-laitteiden historia ulottuu melko kauas, sillä jo ennen ensimmäistä maailmansotaa kehiteltiin erilaisia prototyyppisiä kevytrakenteisista lentokoneista, joita voitaisiin ohjata ilman pilottia. Suurimpia kysymyksiä miehittämättömän lennon kehityksessä oli automaattisen vakautuksen, kauko-ohjauksen sekä itsenäisen navigaatiojärjestelmän yhdistäminen. Gyroskooppien kehittyessä pystyttiin vastaamaan automaattisen vakautuksen ongelmiin ja gyroskoopeilla vakautettua lentoa demonstroitiin Ranskassa kesäkuussa 1914. 1930-luvulla varhaisia kauko-ohjauksella toimivia miehittämättömiä lento-aluksia käytettiin erityisesti maalitauluina ilmatorjuntaharjoituksissa.

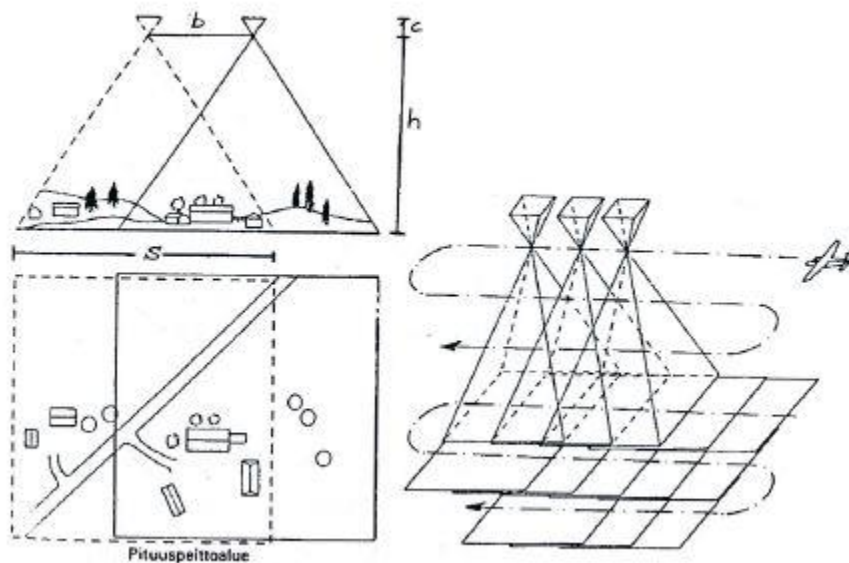
Miehittämättömien lento-alusten kehittäminen jatkui maailmansotien varjossa odottaen teknologian kehittymistä, mutta merkittävin kehitysaskel tapahtui kylmän sodan aikana. Yhdysvaltojen ja Neuvostoliiton välisen varustelukilpailun lisäksi Yhdysvalloissa oli käynnissä sisäinen taistelu johtoasemasta kahden robottiaseteknologian välillä: mannertenväliset ballistiset ohjukset (ICBM, Intercontinental ballistic missile) ja mannertenvälisinä risteilyohjuksina toimivat miehittämättömät ilma-alukset. ICBM voitti taistelun, mutta sisäisen teknologiakilpailun myötä miehittämättömät ilma-alukset hyötyivät merkittävästi itsenäisen, erittäin tarkan navigaatiojärjestelmän kehittymisestä.

Ydinaseiden ja sotilaallisen tiedustelutarpeen lisääntyessä sai alkunsa myös UAV-laitteiden käyttö tiedustelukäytössä. 1950-luvulla Yhdysvaltain ilmavoimat ja armeija käynnistivät lukuisia UAV tiedusteluhankkeita, joita seurasi lyhyen, keskipitkän ja pitkän matkan miehittämättömien ilma-alusten kehittäminen tiedustelutarkoituksiin 1960-luvulla.

UAV-laitteiden kehitys on sittemmin jatkunut niin sodankäynnissä kuin siviilipuolellakin ja teknologian parantuessa laitteita on pystytty rakentamaan erilaisia tehtäviä silmällä pitäen. Nykyisin miehittämättömiä ilma-aluksia hyödynnetään monipuolisesti erilaisissa tehtävissä, ja niitä on pienistä ja kevytrakenteisista koptereista sekä yksisiipisistä kartoituslennokeista aina raskasrakenteisempiin valvonta- ja sotilaskäytön ilma-aluksiin. [2]

## 2.2 Toimintaperiaate

UAV-kuvauksen toimintaperiaate on hyvin samanlainen kuin tavanomaisessa ilmakuvauksessakin. Suurin ero on lentoaluksen koossa sekä lennokin ohjaustavassa. UAS koostuu lennokin lisäksi kamerasta/sensorista, radiolinkistä, maa-asemasta (tietokone) ja käyttäjästä sekä laukaisuun ja laskeutumiseen mahdollisesti tarvittavista tarvikkeista tai alueista. Lennokki on yhteydessä tietokoneeseen radiolinkin kautta, jonka avulla käyttäjä voi seurata lennokin tilaa lennon aikana. Ennen lentoa tehtävässä lentosuunnitelmassa määritellään tietokoneohjelmistolla reitin kohdepisteet, joiden kautta autopilotti ohjaa lennokkia. Lentosuunnitelmalla varmistetaan, että koko kuvausalue saadaan kuvattua stereomalleina asettamalla lentojonoille riittävät pituus- ja sivupeitot (kuva 1). Kuvauskoneen lentolinja määrää kuvajonon sijainnin maaston suhteen ja kuvausjonojen keskinäiset sijainnit määräävät sivupeiton suuruuden.

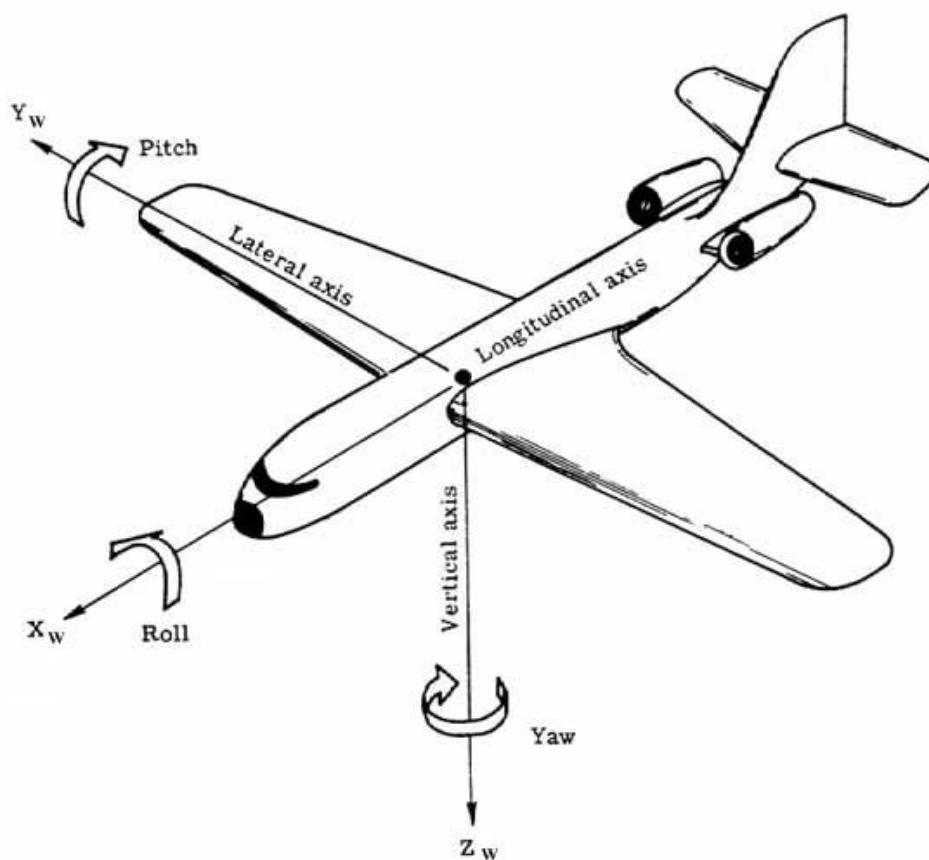


Kuva 1. Kartoituskuvauksen toimintaperiaate. Kuvaukset tehdään jonoina, joista muodostuu stereomalli, kun peräkkäiset kuvat sekä vierekkäiset kuvausjonot peittävät osittain toisensa. [3]

UAV-kuvauksissa käytetään yleisesti suurempia pituus- ja sivupeittoja kuin lentokoneesta tehtävästä ilmakuvauksessa, sillä lennokki saattaa olla kuvanottohetkellä kallistunut, jolloin kuvaa ei oteta suoraan alaspäin. UAV:n lentosuunnitelmassa asetetaan myös turvaraja, jonka ulkopuolelle lennokki ei voi lentää. Tietokoneelta valvotaan ja kontrolloidaan lennon kulkua, jolloin lento voidaan

tarvittaessa keskeyttää ja kutsua lennokki takaisin lähtöpisteeseensä ja pakottaa laskeutumaan. Hätätapausten varalle lennokille on olemassa radio-ohjain, jolla käyttäjä voi ohjata lennokin maahan. Riippuen lennokin koosta se voidaan lähettää käsistä tai laukaisualustalta.

Lennokin automatiikka ajastaa kuvien ottamisen tasaisin väliajoin määriteltyjen pituus- ja sivupeittojen perusteella. Kuvanottohetkellä tallentuvat myös lennokin sijaintitiedot sekä kiertymiskulmat roll (kallistuminen), yaw (kääntyminen) ja pitch (nyökkääminen) aluksen massakeskipisteeseen nähden (kuva 2).



Kuva 2. Lentoaluksen kiertymiskulmat (roll, yaw, pitch) kolmessa ulottuvuudessa aluksen massakeskipisteeseen nähden. [16]

Lentoaluksen sijainti- ja kiertymiskulmatietoja tarvitaan kuvien prosessoinnissa, kun yksittäisistä kuvista tehdään ortokuva. Kuvaprosessointi hoidetaan mahdollisimman automaattisesti, koska matalalla lentävästä lennokista otettu yksittäinen kuva ei peitä kovin suurta maa-alaa, joten pienenkin alueen kartoittamiseen kuvia on otettava kohtalaisen paljon. Kuvaprosessointi voidaan tehdä itse siihen soveltuvalla

ohjelmistolla tai käyttää lennokkivalmistajien tai ulkopuolisten yrittäjien palveluja, jossa kuvat ladataan pilvipalvelimelle ja niistä prosessoidaan valmis lopputuote. [6]

### 2.3 Käyttökohteet

Nykyisin UAV-lennokeilla on jo useita eri käyttökohteita ja sovellutuksia. Lennokkeja voidaan käyttää pienten alueiden ilmakuvauksissa, kartoituksissa, valvonnassa ja etsinnässä sekä luonnonvarojen tutkimisessa. Louhos- ja maa-aineksenottoalueilla ilmakuvauksella saadaan ajantasainen tieto kasojen sijainnista sekä ottoalueen tilanteesta. Koostamalla kuvista kolmiulotteinen pintamalli ja pistepilvi voidaan alueelta laskea kasojen tilavuuksia. Valvonnan ja etsinnän työkaluna UAV-kuvauksilla voidaan tarkistaa sähkölinjoja tai käyttää laitetta apuna kadonneen henkilön etsinnässä. Kauko-ohjattavia lentolaitteiden käyttöä on tutkittu myös petojen raatelemien porojen etsimisessä, josta YLE uutisoi 25.5.2012 [14]. Luonnonvaroja tutkiessa voidaan ilmakuvilta tarkastella pelto- tai metsäalueen kasvillisuutta ja mahdollisesti havaita esimerkiksi kasvitauteja. UAV-laitteet soveltuvat myös esimerkiksi tiehankkeiden eri vaiheiden ja työn seurantaan.

UAV-laitteen hyödyllisyyden käyttökohteessa ratkaisee pitkälti alueen koko. Parhaimmillaan miehittämättömät ilma-alukset ovat 1-5 neliökilometrin kartoituksissa, sillä aineiston käsittelyaika ja – kustannukset nousevat pinta-alan mukaan. Kuvauksia pystytään suorittamaan realistisesti 1-2 päivässä, sillä aikaa kuluu myös lennon valmisteluun, matkaan sekä signalointiin ja maastotöihin. Lennokit soveltuvat myös pidempien nauhamaisten kohteiden kuvaamiseen ja yksi sovellusalue Suomessa voisikin olla suurten tieurakoiden rakennusaikaisen tilanteen kuvaamiseen havainnollistamaan väliraportointia. [1; 6; 7.]

Kopterimallisten UAV-laitteiden etuna on, etteivät ne tarvitse erityistä tilaa noustakseen ja laskeutuakseen. Koptereita voidaan käyttää muun muassa erilaisten rakennuskohteiden kuvaukseen, luonnonkatastrofien havaitsemiseen ja sähkölinjojen kunnon tarkastukseen. Tavallisen kameran lisäksi koptereissa on tutkimuskäytössä erilaisia laserkeilaimia, mutta erilaiset kuvausinstrumentit nostavat kopterilta vaadittavaa kantokykyä ja suuremman kantokyvyn kopterit ovat usein suuria kooltaan ja polttomoottorikäyttöisiä. Esimerkiksi Swissdronen Waran TC-1235 -kopteri yhdessä Leica Geosystems RCD30 -kuvauslaitteiston kanssa painaa noin 50 kiloa. Useat

laitokset ja yliopistot ovat kehittämässä kevytrakenteisia laserkeilaimia, joita voitaisiin käyttää kevyissä UAV-laitteissa. Laserkeilaimien kehittyessä myös kevyempiin koptereihin soveltuvaksi ne saattavat soveltua hyvinkin monipuolisesti eri kartoitustehtäviin. Suomessa Geodeettinen laitos on kehittänyt Senseimonisensorijärjestelmää UAV-käyttöön ja tutkinut sitä metsäkartoituksen teossa. Kaupallisista yrityksistä esimerkiksi saksalainen Microdrone GmbH on kehittämässä muutaman kilon painoista keilainta, joka soveltuisi muun muassa kaivosteollisuuden tilavuuslaskentaan. [1; 19; 20; 21; 22; 23.]

#### 2.4 UAV-kuvauksen ero tavanomaiseen ilmakuvaukseen

Suurin ero UAV-kuvauksen ja lentokoneesta tehtävän tavanomaisen ilmakuvauksen välillä on, että UAV:a ohjaava ”pilotti” on maassa, joissain tapauksissa tuhansien kilometrien päässä (sotilastehtävät). Muita suuria eroja on käytettävä lentokorkeus sekä kartoitettavan alueen laajuus. Yleisesti UAV-laitteilla kartoitettavat alueet ovat melko pieniä lennokin rajoitetun lentoajan sekä lainsäädännön takia. Toisaalta niillä saavutettava suurin hyöty on juuri pienten alueiden kartoituksilla, joihin ei ole taloudellisesti kannattavaa tilata suurta lentokonetta tai helikopteria tai joilta ei ole saatavilla ajantasaista ilmakeu-aineistoa. Lisäksi UAV-lennokilla saattaa pystyä pilvisenäkin päivänä kuvaamaan pilven alapuolella, jolloin korkeammalta tehtävää lentokuvausta tehdessä pilvisyys estäisi näkyvyyden maanpinnalle.

Lentokoneesta tehtävissä ilmakuvauksissa signaalien koko määräytyy käytettävän kameran ja kuvausmittakaavan mukaan. UAV-kuvauksessa lentokorkeuden ollessa matalampi ei maastoon asetettavien signaalien tarvitse olla niin suuria, ja lentokorkeuden ollessa useimmiten sama voidaan käyttää liikuteltavia signaaleita.

UAV-kuvauksessa käytetään usein suurta pituus- ja sivupeittoa matalasta kuvauskorkeudesta johtuen. Suurella pituus- ja sivupeitolla taataan kuvien riittävä päällekkäisyys, jotta koko alue saadaan kuvattua stereomallina, jolloin alueesta voidaan muodostaa tietokoneohjelmalla pintamalli ja ortokuva. Lentokoneesta tehtävän ilmakuvauksen pituus- ja sivupeitot ortokuvauksissa ovat usein 60 % ja 30 %, kun vastaavasti UAV-kuvauksissa voidaan käyttää pituuspeittona 75 %:a ja sivupeittona 80 %:a. Pituus- ja sivupeitto ilmaistaan prosenttilukuna kuvan kokonaisalasta, pituuspeitto

lentosuunnan mukaan ja sivupeitto vierekkäisten lentojonojen päällekkäisyyden mukaan. Pituus- ja sivupeitto kirjoitetaan useimmiten muotoon 60/30.

UAV-kuvauksessa yleisesti lentokorkeus on noin 120 metriä, jolloin tavallistakin kameraa käytettäessä saadaan ortokuvalle noin 4 cm:n resoluutio. Tämä tarkoittaa, että yksi pikseli kuvalla vastaa noin 4 cm:ä maastossa. [5; 11.]

## 2.5 Lainsäädäntö

Miehittämättömien lennokkien käytöstä säädetään ilmailulaissa ja ilmailusäädöksissä. Nykyisillä säädöksillä UAV:lla voi lentää alle 150 metrin korkeudessa näköyhteyden säilyessä lennokkiin jatkuvasti. UAV:a koskevia säädöksiä ollaan kuitenkin muokkaamassa alan kehittyessä nopeasti, ja tulevia määräyksiä koskevissa hallituksen esityksen perusteluissa on esitetty, että näköyhteyksivaatimuksen lisäksi maksimilentokorkeus alennettaisiin 120 metriin ja asetettaisiin maksimietäisyys lennättäjästä 500 metriin. [1]

Lennoikin ominaisuuksien ja lentoetäisyyksien lisäksi on ilmakuvausta tehdessä huomioitava ilmakuvausta koskeva lainsäädäntö. Pääosin ilmavalokuvaus on Suomessa sallittua, mutta aluevalvontalain 14 §:ssä kielletään sotilaskohteiden valokuvaus:

Suomen alueella ei saa ilman lupaa kuvata lennon aikana ilma-aluksesta tai muusta ilmassa liikkuvasta laitteesta sähkömagneettisen säteilyn taltiointiin käytettävällä laitteella, ellei Suomea velvoittavasta kansainvälisestä sopimuksesta muuta johdu:

- 1) ilmailulain (281/1995) 7 §:n 1 momentin nojalla ilmailulta pysyvästi rajoitettuja alueita;
- 2) linnoitusalueita, linnakkeita tai kasarmialueita;
- 3) sotasatamia tai sotilaslentokenttiä;
- 4) puolustusvoimien varikoita tai varastoja;
- 5) puolustusvoimien viestiasemia, antennikenttiä tai puolustuslaitteita tai -välineitä;
- 6) puolustusvoimien tai rajavartiolaitoksen maastoharjoituksia.

Mitä 1 momentissa säädetään, ei koske kuvaamista lentoväylällä liikkuvasta ilma-aluksesta yksityiseen tarkoitukseen.

Luvan perusteella otetut tallenteet voidaan lupamääräysten noudattamisen valvomiseksi määrätä esitettäväksi lupaviranomaiselle. [9]

Sotilaskohteiden lisäksi ilmailukarttoihin on merkitty muita kiellettyjä kohteita P- tai R-tunnuksella, jotka tarkoittavat esimerkiksi ydinvoimaloita. [1]

UAV-laitteita koskeva lainsäädäntö on merkittävästi alalla tapahtuvaa kehitystä jäljessä, ja lainsäädäntöä pyritään tekemään kaikilla tasoilla globaalisti, Euroopan sekä Suomen tasolla. Lainsäädännössä tullaan käsittelemään miehittämättömien lentoalusten turvallisuutta, ilmatilan käyttöä, miehittämättömien lennokkien käytöstä aiheutuvia vastuita, käytöstä mahdollisesti syntyvää melua sekä yksityisyyskysymyksiä.

Suomi on mukana JARUS-organisaatiossa, jonka tavoitteena on RPAS (remotely piloted aircraft systems) -sääntelyn harmonisointi kansainvälisesti ja mallinormiston luominen. Kansallinen sääntely tapahtuu luotavien JARUS-normien pohjalta, jotka tulevat olemaan pohjana myös eurooppalaiselle lainsäädännölle. [4]

Liikenteen turvallisuusvirasto Trafín verkkosivuilla kerrotaan käynnissä olevan ilmatilan kokonaisuudistuksen mahdollistavan myös UAV-laitteiden käytön entistä laajemmin [10]:

Suomessa on käynnissä ilmatilan täysremontti, jonka tavoitteena on ilmatilan tehokkaampi käyttö ja yhteiseurooppalaisten lentosääntöjen toimeenpano. Uudistuksella tuetaan myös Puolustusvoimien rakenneuudistusta.

Ilmatilan kokonaisuudistuksen yhteydessä linjataan myös uudelleen kielto-, rajoitus- ja vaara-alueiden käyttöperiaatteet, jotta ne vastaavat paremmin muun Euroopan käytäntöjä ja jotta myös teknologisen kehityksen tuomiin haasteisiin voidaan vastata, mm. mahdollistamalla miehittämättömien ilma-alusten käyttö entistä laajemmin.

Uudistus vaikuttaa kaikkiin ilmailijoihin, ammattilaisista harrastajiin ja jokaisen on oltava perillä muutosten vaikutuksista ennen lento-olähtöä uudessa ilmatilassa.

Uusi ilmatilarakenne on tarkoitus ottaa käyttöön marraskuussa 2014.

### 3 Mittaustyöt

#### 3.1 Lennokin tekniset tiedot

Mittaustöissä käytettiin Senseflyn swinglet CAM -lennokkia. Lennokin tekniset tiedot näkyvät oheisessa kuvassa 3.

<i>Size</i>	Wingspan: 80 cm Wing area: 0.22 m <sup>2</sup>
<i>Weight</i>	500 g
<i>Battery</i>	3-cell Lithium-Polymer Capacity: 1350 mAh
<i>Endurance</i> <sup>1</sup>	Approx. 30 minutes
<i>Range</i> <sup>2</sup>	Up to 20 km
<i>Propulsion</i>	Electric brushless motor Nominal static thrust: 0.45 kgf (4.4 N)
<i>Flight speed</i>	Nominal cruise speed: 10 m/s
<i>Communication link</i> <sup>3</sup>	Remote control: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 35 MHz, range: approx. 1 km (s/n: up to SC-03-xxx)</li> <li>• 2.4 GHz, range: approx. 1 km (s/n: SC-04-xxx and higher)</li> </ul> Data: 2.4 GHz, range: approx. 1.5 km
<i>Navigation</i>	up to 20 waypoints
<i>Photos</i>	up to 5 photo locations

Kuva 3. SenseFly swinglet CAM -lennokin tekniset tiedot.

Käyttöohjeessa mainitaan, että lennokka ei ole tarkoitettu lennettäväksi yli 7 m/s tuulella eikä vesisateessa. Lentoaikaan ja etäisyyteen vaikuttavia tekijöitä ovat tuuli, korkeuden vaihtelut ja lämpötila. Yhteyslinkin toimivuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat lentokorkeus, mahdolliset esteet sekä radiotaajuuden häiriöt. [13]



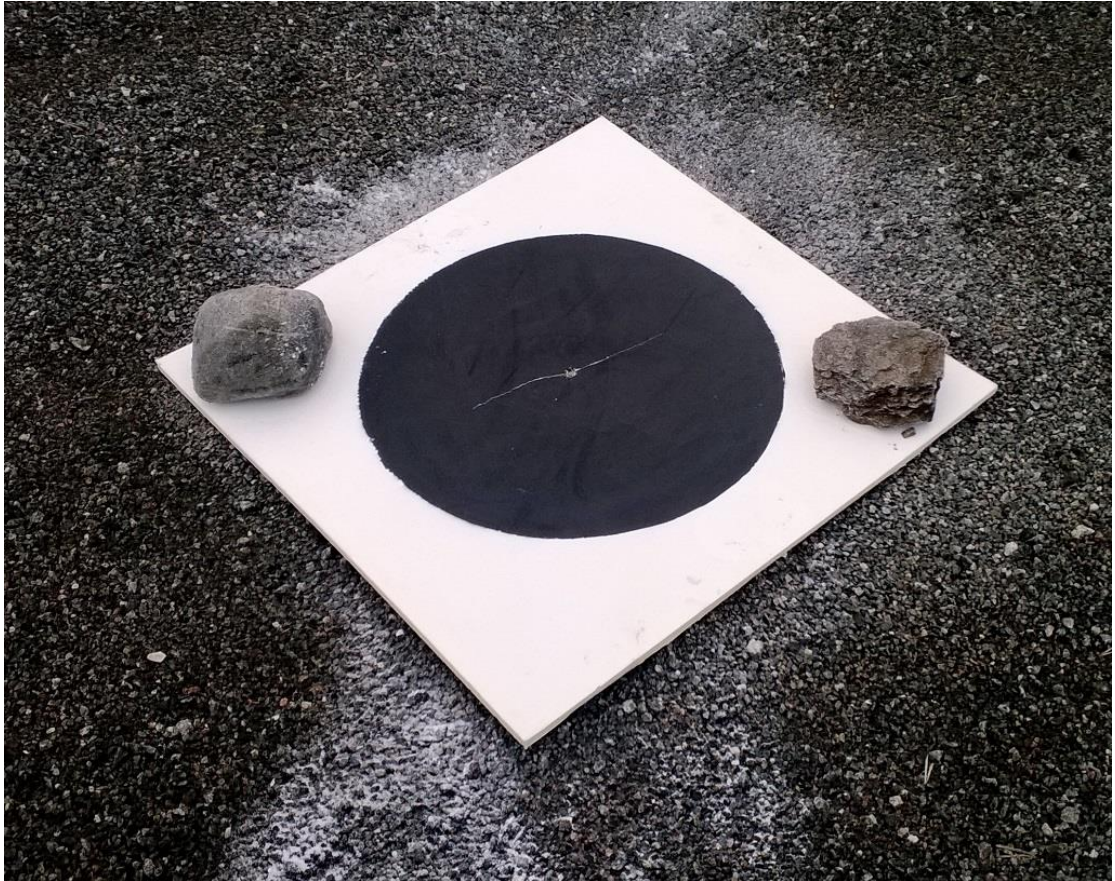
## 3.2 Lentovalmistelut

Senseflyn swinglet CAM -lennokki ei pienen kokonsa vuoksi vaadi suuria lentovalmisteluja. Eniten aikaa vievä lentoa valmisteleva prosessi on signalointipisteiden asettaminen maastoon. Lentosuunnitelman laadinta Senseflyn eMotion-ohjelmistolla on nopeaa, ja se voidaan tehdä kuvauspaikalla muutamassa minuutissa. Signaalien asettamisen ja lentosuunnitelman laatimisen jälkeen tarkistetaan vielä lennokin toiminnot, kuten kameran toimivuus, minkä jälkeen se voidaan lähettää lentoradalleen.

### 3.2.1 Signalointi

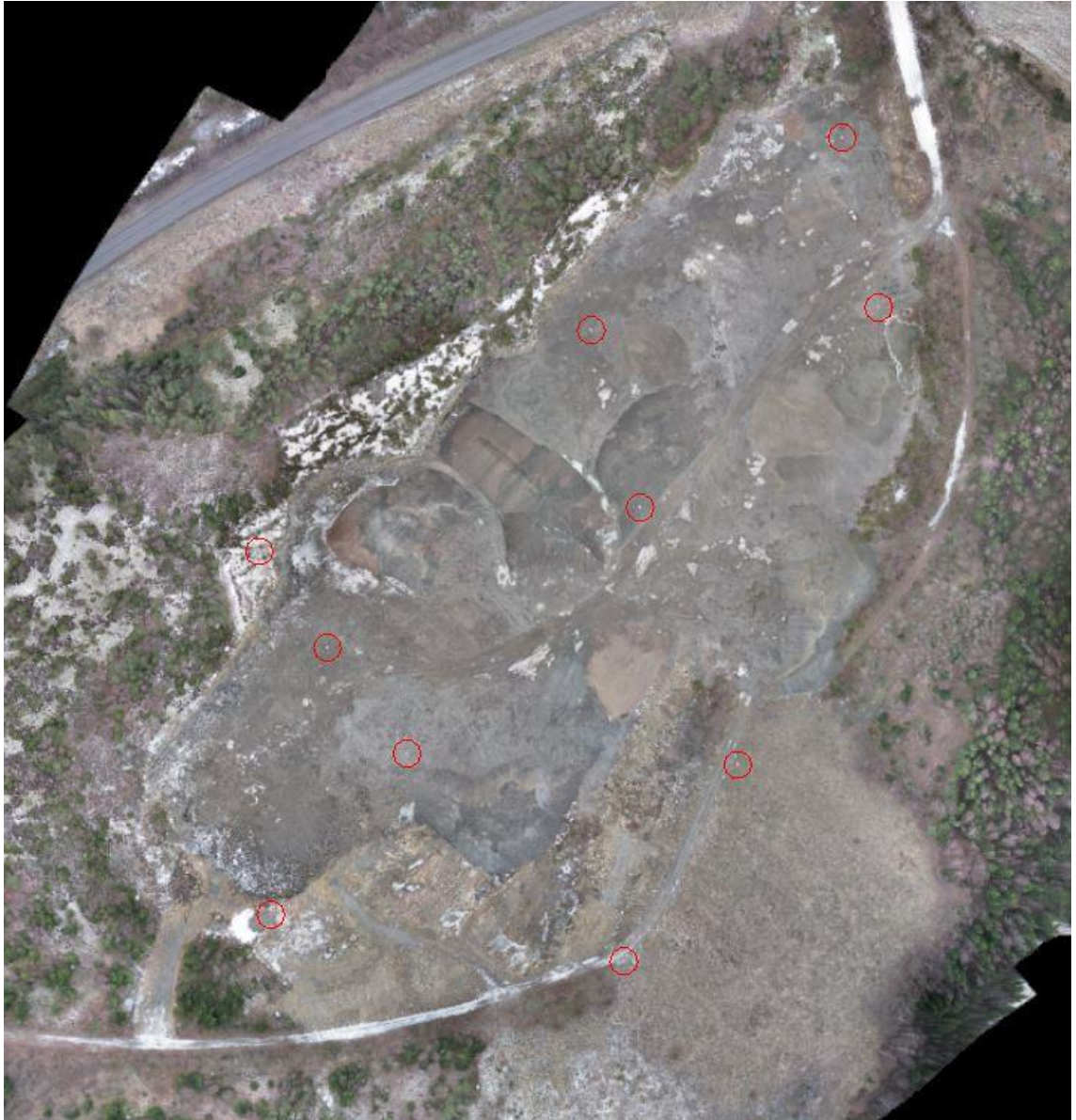
Signaloinnilla osoitetaan kuvalta kohteita, joiden halutaan selkeästi erottuvan kuvilta. Kohteita voivat olla esimerkiksi rajapyykit ja kaupunkialueiden kuvauksissa kaivojen kannet. UAV-kuvauksissa signaaleja käytetään useimmiten osoittamaan GCP (ground control point) -sijainnit, joita käytetään ortokuvan rakentamisessa ja joiden avulla kuva saadaan orientoitua koordinaatistoon. Signaalien muoto voi vaihdella, mutta yleisimmin ilmakuvausissa käytettävät signaalit ovat valkoisia puusta tai muovista rakennettuja ristejä. Muunlaisia signaaleita ovat T-mallinen, ympyrän tai neliön muotoinen signaali. Signaalin erottuvuutta voidaan parantaa kontrastia lisäävillä väreillä tai materiaaleilla.

Kohdealueen kuvauksessa käytettiin mustaa 50 cm halkaisijaltaan olevaa ympyränmallista signaalia, joka oli maalattu 70 cm \* 70 cm:n kokoiselle neliön muotoiselle valkoiselle kapa-levylle (kuva 4).



Kuva 4. Kohdealueen UAV-kuvauksessa käytettyjen signaalien malli. Kuva: Ilkka Partonen.

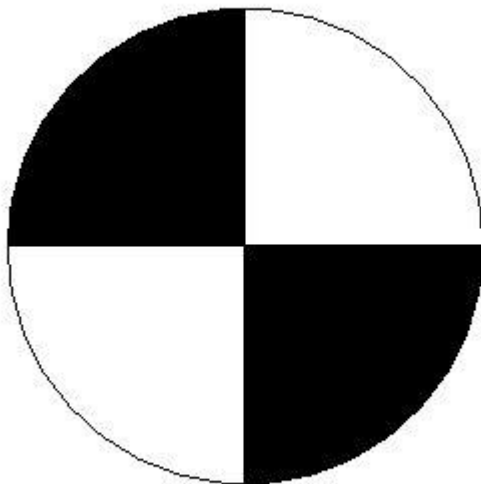
Kuvattavalle alueelle asetettiin 10 signalointipistettä tasaisesti eri puolille kuvausaluetta (kuva 5).



Kuva 5. Signalointipisteiden sijainnit kuvausalueella.

UAV-kuvauksen matalasta lentokorkeudesta johtuen yhden kuvan peittämä ala on kohtalaisen pieni, mistä syystä signalointipisteitä on tarpeen asettaa riittävän tiheästi. Käytettävien signalointipisteiden määrä vaikuttaa ortokuvan tarkkuuteen ja kuvien prosessoinnissa tulisi käyttää 10-15:tä signalointipistettä [13]. Osalla kuvista signaalien erottuvuus saattaa vaihdella, esimerkiksi kuvan tärähtämisestä johtuen, mistä syystä on myös tärkeää käyttää riittävää määrää signalointipisteitä.

Kiviainesten ottoalueilla tapahtuvan toiminnan jatkuessa useita vuosia samalla paikalla olisi mahdollista rakentaa alueelle kiinteitä signaalipisteitä, jolloin UAV-kuvauksella alueen seuranta voitaisiin tehdä nopeasti ja tasaisin väliajoin. Kiinteitä signaaleita käytettäessä tulisi varmistaa signaalien liikkumattomuus. Louhosalueella kiinteä signaali voisi olla esimerkiksi kallioon porattu pultti, joka näkyvöitetään maalamalla kallioon helposti erottuva ja tunnistettava kuvio (kuva 6). Myös kiinteitä signaaleita asettaessa tulee huomioida niiden tasainen sijoittuminen eri puolille kohdealuetta, jolloin kiviaineksenottoalueen keskelle joutuisi todennäköisesti rakentamaan myös muunlaisia kiinteitä signaaleita tai käyttämään liikuteltavia signaaleita kiinteiden lisäksi.



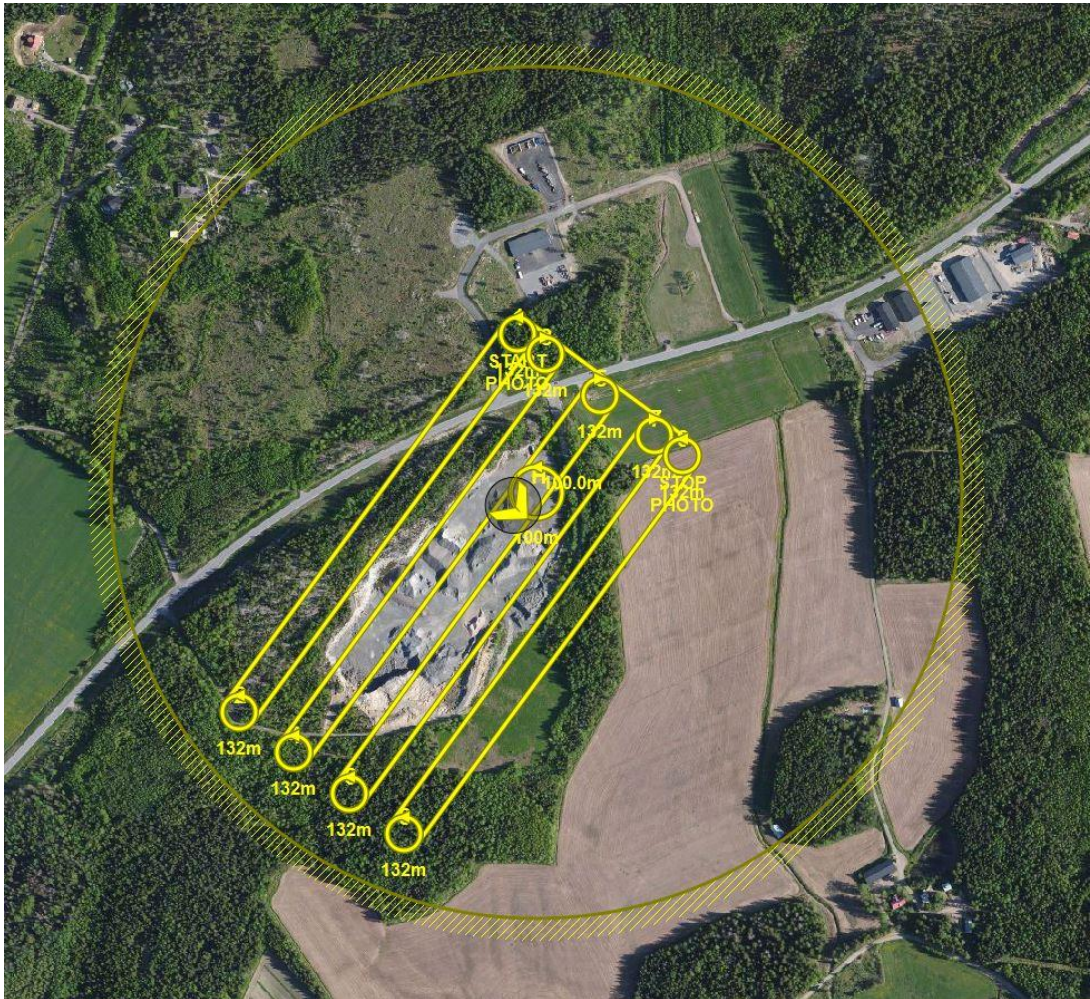
Kuva 6. Esimerkki signaalin näkyvöittämisestä maalattavasta kuviosta.

Signaaleita asettaessa on huomioitava, että niiden ympärillä on riittävästi tyhjää tilaa, jotta signaali ei peity esimerkiksi puiden taakse lennokin ottaessa kuvia eri suunnista. Louhoksen laajentuessa kiinteitä signaaleita saattaisi joutua rakentamaan lisää tai käyttämään liikuteltavia signaaleita, mikäli alun perin asetetuilla kiinteillä signaaleilla ei pystytä enää kattamaan koko kuvausaluetta. Kiinteillä signaaleilla olisi kuitenkin mahdollista merkitä pysyvämmiin haluttuihin kohteisiin, kuten ottoalueiden rajat, mutta signaalien näkyvyys voi olla vaihtelevaa kohdekohtaisesti, jos esimerkiksi puustoa ei ole poistettu kokonaan louhittavalta/kaivettavalta alueelta.



### 3.2.2 Lentosuunnitelma

Lentosuunnitelma tehtiin käyttäen Senseflyn eMotion-ohjelmistoa. Lentosuunnitelma luodaan karttapohjan päälle osoittamalla kohdealue ja määrittelemällä kuvattava alueen suuruus pituus- ja leveys suunnassa (kuva 7). Ohjelma rakentaa itse kohdepisteet lentoreitille asetettujen parametrien mukaisesti. Kuvauksessa käytettiin sivupeittona 80 %:a ja pituuspeittona 75 %:a.

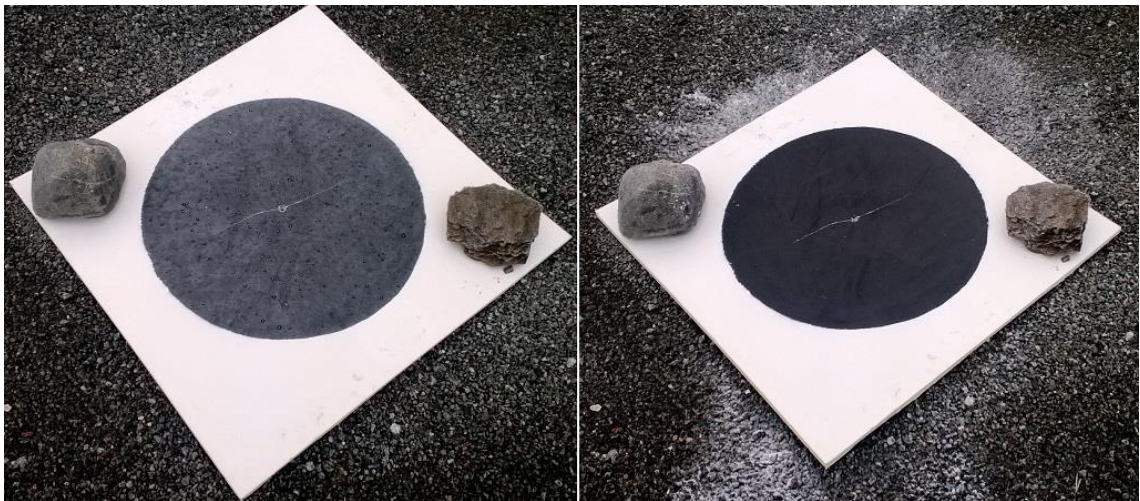


Kuva 7. Kohdealueen lentosuunnitelma.

Reitin kohdepisteitä on mahdollista siirtää itse, mutta kuvattavan kohdealueen asettuessa hyvin suorakaiteen mallisen alueen sisälle lentosuunnitelman muokkaamiseen ei ole tarvetta.

### 3.3 UAV-kuvaus

Kohdealueen kuvaus suoritettiin 3.–4.12.2013. Kuvauksissa oli mukana Metropolia Ammattikorkeakoulun laboratorioinsinööri Ilkka Partonen, mutta työn tekijä on tehnyt kaiken mittaustyön, joten työmääriä voidaan tarkastella yhden henkilön tekeminä. 3.12.2013 vallinneista sääolosuhteista johtuen lentoa jouduttiin siirtämään toiselle päivälle, jolloin ensimmäisenä päivänä asetettiin signalointipisteet maastoon ja mitattiin niille GPS-koordinaatit. Toisena päivänä signalointipisteiden sijainti tarkistettiin lennon yhteydessä. Yöllä lämpötilan laskiessa nollan alapuolelle signaalien pinnalle oli syntynyt ohut kuura, joka myös poistettiin signaalien tarkistuksen yhteydessä (kuva 8).



Kuva 8. Vasemmalla kuuraa signaalin pinnalla, oikealla kuura on poistettu signaalin pinnalta.  
Kuva: Ilkka Partonen.

Kuurapeite heikentää signaalien näkyvyyttä ja erottuvuutta ympäröivästä maastosta, etenkin kun kohdealueella oli osittain luminen maa. Kuura saattaisi aiheuttaa myös valon heijastumista signaalien pinnasta, mikä voisi johtaa signaalien vaikeaan tai puutteelliseen havaitsemiseen kuvilta.

#### 3.3.1 Kuvauskohde ja tarkoitus

Kuvauskohteena oli Destia Oy:n Murron kiviaineksenottoalue Pornaisissa. Kuvattavan alueen pinta-ala oli noin 14 hehtaaria. UAV-kuvauksen tarkoituksena oli kartoittaa alueen kiviainekasojen tilavuudet pistepilveltä, tuottaa 3D-pintamalli ja ortokuva



kohtealueesta sekä verrata pistepilveltä laskettuja kasojen tilavuuksia GPS-kartoituksen mittaustuloksiin.

### 3.3.2 Lentoon lähettäminen ja lennon seuranta

Kuvauksessa käytetyn Senseflyn swinglet CAM -lennokin kevyt rakenne mahdollistaa sen lentoon lähettämisen käsin, mikä vähentää lentovalmisteluihin kuluvaan aikaan, kun erillistä isompien lennokkien vaatimaa laukaisualustaa ei tarvitse rakentaa (kuva 9).



Kuva 9. Senseflyn swinglet CAM -lennokin lähetys kuvausalueella. Kuva: Ilkka Partonen.

Lennonaikainen seuranta tapahtuu sekä tietokoneelta tarkkaillen että lennokin lentoa seuraten. Aukealla alueella lennokka pysyy näkökentässä melko hyvin koko lentonsa ajan, vaikka lentojonon toisessa päässä se käykin usean sadan metrin etäisyydellä tarkkailupaikasta. Lennon jälkeen lennokin lentämää reittiä voidaan tarkastella esimerkiksi Google Earth -sovelluksella (kuva 10).



Kuva 10. Swinglet CAM -lennokin lentoreitti Murron kiviainesten ottoalueen yllä Pornaisissa. [15]

Tarkastellessa lentoreittiä nähdään, etteivät kuvausjonot ole aivan tasaisilla välimatkoilla toisistaan. Etäisyyksien vaihtelu kuvausjonojen välillä voi johtua tuulen vaikutuksesta sekä siitä, kuinka nopeasti lennokin autopilotti pystyy korjaamaan lennokin asentoa ja lentoreittiä. Suurta sivu- ja pituuspeittoa käytettäessä kuvausjonojen etäisyyksien vaihteluista ei kuitenkaan aiheudu haittaa, vaan kuvausalueelta saadaan muodostettua suunnitelman mukaisen alueen kattava ortokuva.

### 3.3.3 Sään merkitys

Paras sää UAV-kuvauksen tekemiseen on tasaisen pilvinen, poutainen ja suhteellisen tyyni, jolloin ei synny kovia kontrasteja kuvaan, eivätkä tuulen voimakkuus tai sade estä tai hankaloita lentoa ja kuvausta. Kova auringonpaiste luo maan pinnalle jyrkkiä valoja ja varjoja, jolloin kuvasta saatetaan näiltä alueilta menettää tietoa sen tulkittamisvaikeuden vuoksi.



Lennoxin rakenteesta riippuen tuulen voimakkuudella on merkityksensä lennon onnistumiseen. Senseflyn swinglet CAMin kevyestä rakenteesta johtuen se on melko altis puuskittaiselle voimakkaalle tuulelle. Jotta pystyisi arvioimaan tarkemmin, missä olosuhteissa lento voi vielä tällä lennokilla onnistua, olisi lentoja tehtävä merkittävästi enemmän vaihtelevissa olosuhteissa ja tutkia lennoxin käyttäytymistä niissä. Usein merkittävin lennon keskeytymiseen vaikuttava tekijä on voimakas puuskittainen tuuli, joka aiheuttaa lennoxin ajautumisen pois lentoreitiltään, eikä lennoxin autopilotti ehdi korjata asentoa riittävän nopeasti, jolloin lento keskeytyy.

#### 3.3.4 Lennonaikaiset havainnot

Ensimmäisellä kuvausyrityksellä 3.12.2013 sää oli puolipilvinen ja tuulen voimakkuus maan pinnalla noin 4–5 m/s, joka puuskissa yltyi noin 7 m:iin/s. Lennoxin kiertäessä ”kotipisteensä” yllä noin 100 metrin korkeudella, josta se lähetetään lentoradalleen, tasainen tuulen voimakkuus nousi noin 7 m:iin/s, mutta joka puuskissa yltyi 13 m:iin/s, jolloin navakat tuulenpuuskat ajoivat lennoxin pois reitiltään, minkä seurauksena autopilotti keskeytti lennon. Navakasta tuulesta johtuen lentojen suorittaminen ei onnistunut 3.12.2013.

Seuraavana päivänä 4.12.2013 sää oli pilvinen ja tuulen voimakkuus laskenut huomattavasti. Maan pinnalla oli käytännössä tyyntä ja lentokorkeudella tuulen voimakkuus ylsi korkeimmillaan noin 3–4 m:iin/s. Näissä sääolosuhteissa lennoxin toiminnassa ei havaittu ongelmia, ja kuvauspäivänä suoritettiin kaksi onnistunutta kuvauslentoa. Lentopäivien sääolosuhteet on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Lentopäivien sääolosuhteet kohdealueelle saapuessa. Huomattavia olosuhteiden muutoksia ei tapahtunut lentojen aikana.

Kuvauspaikka	Murto, Pornainen	
Päivämäärä	3.12.2013	4.12.2013
Kellonaika	9:45	9:50
Lämpötila	2–3°C	–2°C
Tuulen voimakkuus maan pinnalla, m/s	4–5 m/s, puuskissa 7 m/s	0–1 m/s
Tuulen voimakkuus lentokorkeudella, m/s	7–8 m/s, puuskissa 13 m/s	3 m/s
Lopputulokset	lento ei onnistunut	2 lentoa onnistuneesti

Kuvauslentojen yhteydessä havaittiin lennokin potkurin saaneen vaurioita aiemmilta lennoilta ja se päätettiin vaihtaa. Vaurioituneen ja uuden potkurin erot olivat havaittavissa selkeästi (kuva 11). Kuvausalueen jäinen ja karkea maanpinta aiheuttavat helposti vaurioita potkuriin lennokin laskeutuessa.



Kuva 11. Lennokin uusi (yllä) ja vaurioitunut (alla) potkuri. Kuva: Ilkka Partonen.

Viileän lämpötilan vaikutusta akkujen keston tai kameran toimintaan pohdittiin ennen lento-ohjelmistoa ja viileän sään ja ilmvirran vaikutuksen vähentämiseksi kameraa suojattiin alumiinifoliolla (kuva 12).



Kuva 12. Lennokin kameran suojaus alumiinifoliolla. Kuva: Ilkka Partonen.

4.12.2013 vallinneissa olosuhteissa suoritettiin kaksi onnistunutta lentoa, eikä kummallakaan lennolla sääolosuhteista aiheutunut haittaa.

### 3.4 Kuvien prosessointi

#### 3.4.1 Yleistä

Kuvien prosessointiin käytettiin Agisoft Photoscan -ohjelmistoa. Prosessoinnissa yhdistetään lennon aikana otetut yksittäiset kuvat yhdeksi kuvablokiksi, jolloin kuvablokki kattaa koko lentosuunnitelmalla määritellyn kuvausalueen. Yhdistämällä signalointipisteiden tiedot kuvilta näkyviin signaaleihin saadaan sijaintitarkkuutta parannettua merkittävästi ja kuvablokista muodostettua ortokuva.

#### 3.4.2 Pintamallin ja ortokuvan luonti

Kuvien sijaintitietoja sekä lentoaluksen kiertumiskulmien tietoja käyttäen pystytään asettamaan kuvat niiden lennonaikaisten sijaintien mukaisesti ja muodostettua niistä tietokoneella kuvablokki. Tietokoneohjelma hakee kuvilta yhteneviä pisteitä, joita se löytää pituus- tai sivusuunnassa päällekkäin limittyviltä kuvilta. Automaattisen liitospisteiden tunnistamisen lisäksi kohdealueelle sijoitetut signalointipisteet voidaan



osoittaa kuvilta ja ottaa mukaan laskentaan, jolloin pystytään parantamaan ortokuvan tarkkuutta huomattavasti. Signaalointipisteitä käytetään myös kuvablokin ulkoisina liitospisteinä, joilla kuvablokki voidaan sijoittaa ulkoiseen koordinaatistoon. [12]

Valmiilta georeferoidulta ortokuvasta voidaan mitata etäisyyksiä sekä digitoida kohteita viiva- tai pistemäisiksi elementeiksi. Digitoimalla pystytään esimerkiksi seuraamaan louhoksen reunan etenemistä tai määrittämään kasojen sijainnit (kuva 13). Georeferoidun ortokuvan päälle voidaan myös tuoda esimerkiksi rajapyykkien tiedot, jolloin pystytään suhteuttamaan kaivun tai louhoksen eteneminen kiinteistön rajoihin.



Kuva 13. Louhoksen reunaa ja kiviaineskasoja digitoituna ortokuvasta.

Photoscanin tuottama digitaalinen korkeusmalli esittää alueen korkeuseroja eri harmaasävyarvoilla ja joissain tapauksissa louhoksen reunan tai kasojen sijainnin tulkitseminen saattaa olla yksiselitteisempää korkeusmallista kuin ortokuvasta.

### 3.4.3 Tilavuuksien laskenta

Kasojen tilavuuksia laskiessa on käytetty 14.6.2013 GPS-kartoitusmittausten yhteydessä määriteltyjä raekokoja kasojen nimeämiseksi ja erottamiseksi toisistaan (liite 1).

### 3.5 VRS GPS -kartoitus

Vertailuaineistona UAV-kuvaukselle suoritettiin kohdealueen kasojen mittaus VRS GPS -kartoituksella. Kartoitus tehtiin mittaamalla pisteitä kasojen ympärykseltä sekä päältä siten, että mittaushavainnoista pystyttiin 3D-Win-ohjelmistolla muodostamaan maastomallit sekä määrittämään kasojen tilavuudet. GPS-kartoitusta tehdessä kasan muoto saattaa rajoittaa tai estää kasan päällä liikkumisen, jolloin pisteitä ei saada mitattua riittävästi joka puolelta kasaa sen geometrian mallintamiseksi. Tästä johtuen mittaustulokseen syntyy runsaasti virhettä tai kasan tilavuutta ei saada määritettyä. Kohdealueen kasoja kartoittaessa kuvatus kaltaisia tilanteita oli yksi. (Kuva 14.)



Kuva 14. GPS:llä kartoittaessa ei välttämättä päästä keräämään mittausaineistoa joka puolelta kasaa sen vaikean muodon vuoksi, jolloin kasan geometrian mallintaminen jää puutteelliseksi. Kuva: Ari-Pekka Jokinen.

Kartoitusta tehdessä jatkuvana haasteena oli jäisillä kasoilla liikkuminen, sillä jäisen kasan pinnalla oleva irtonainen kiviaines pyöri kenkien alla, mikä loi jatkuvan kaatumisriskin kasoilla liikkuessa.

## 4 Tulosten vertailu

### 4.1 Mittausmenetelmien erot

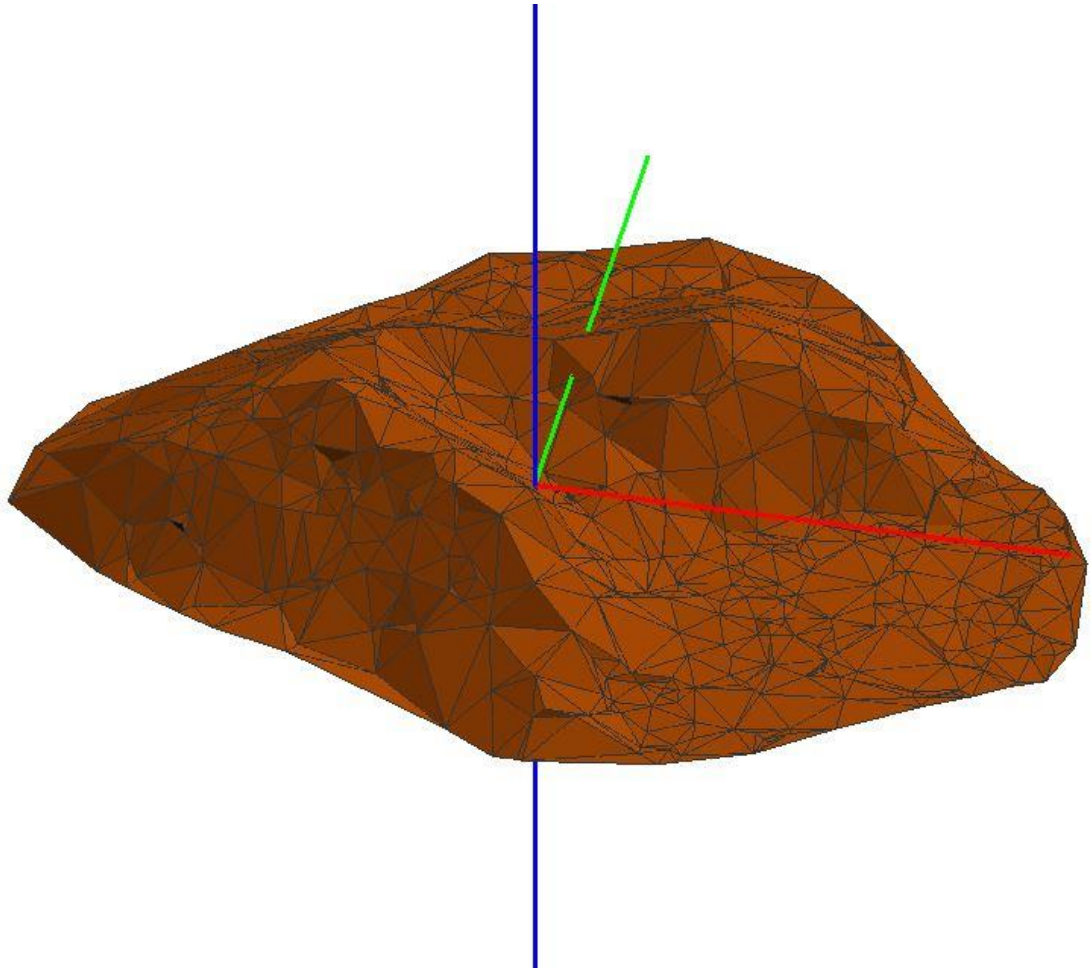
GPS-kartoitusta ja UAV-kuvausta vertailtaessa on selvää, että mittausmenetelmät eroavat toisistaan suuresti, toisen tapahtuvan autopilotin avulla ilmasta ja toisen tapahtuessa perinteisempänä kartoituksena jalkaisin. UAV-kuvauksen etuna on kartoituksen nopeus, mutta toisaalta lennokka on alttiimpi sääolosuhteille. GPS-kartoitusta taas pystytään tekemään haastavammissakin sääolosuhteissa, mutta aikaa kuluu enemmän.

#### 4.1.1 Laskentatulosten erot

Hyvän tarkkuuden saavuttamiseksi tulisi kuvaprosessoinnissa käyttää kymmentä signalointipistettä [17]. Totuudenmukaisen tuloksen saamiseksi on tärkeää, että joka puolelta kasaa olisi saatavilla pisteaineistoa, mutta epävarmuutta tilavuuden määrittämiseen luo joka tapauksessa kasan pohjan geometrian tuntemattomuus. Pisteaineiston laatuun vaikuttaa, mikäli kasa sijaitsee louhoksen reunaa vasten, epätasaisella pohjalla tai kasan reuna-alueilla kasvaa puita. Puut peittävät näkyvyyden maan pinnalle, jolloin kasan reunojen tulkitseminen vaikeutuu. Myös louhosta vasten sijaitsevat kasat ovat ongelmallisia, sillä dataa saadaan kerättyä vain pintaosista, jolloin louhoksen reunan ja kasan pohjan todellinen sijainti jää epäselväksi. Tilavuuksien määrittäminen onnistuu parhaiten suhteellisen tasaisella pohjalla sijaitsevilta kasoilta, jolloin pisteaineistoa on tasaisesti joka puolelta kasaa.

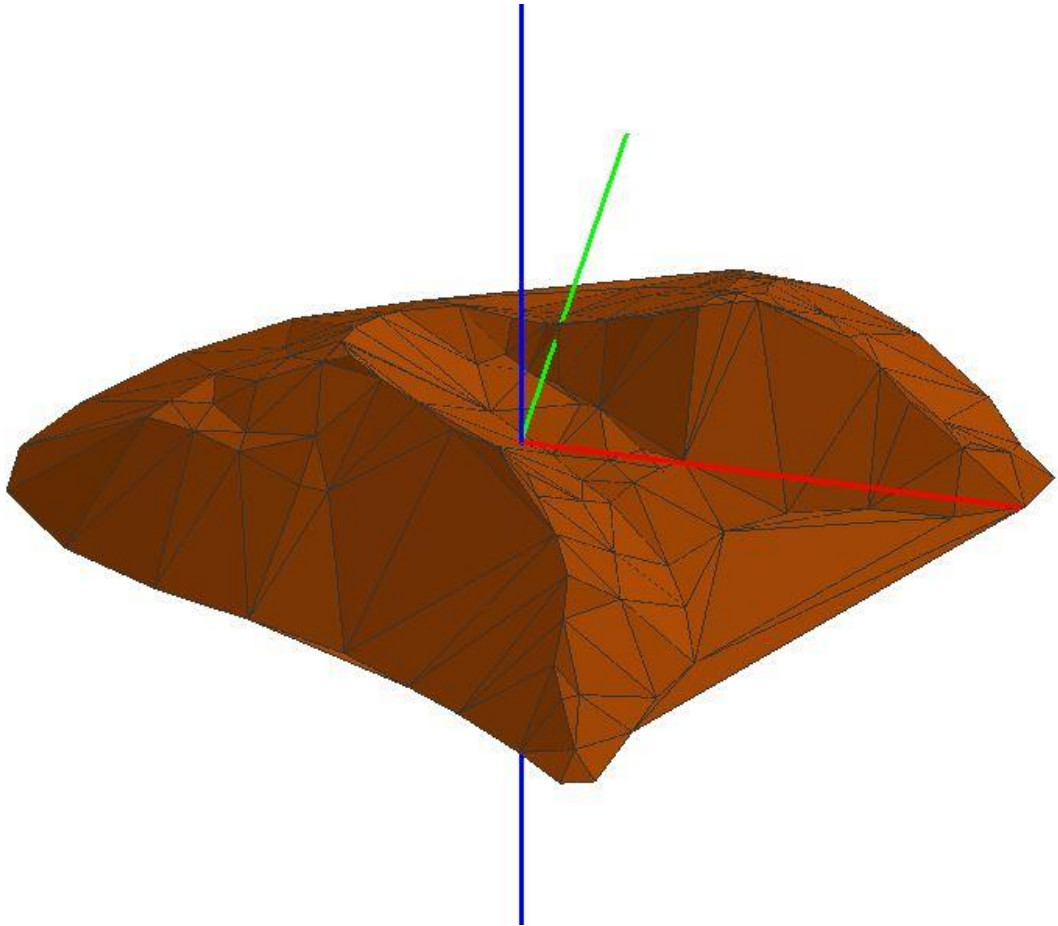
UAV-kuvilta koostetun pistepilven ja GPS-kartoituspisteiden tiheyden eroja voidaan tarkastella kolmioimalla pisteaineisto, jolloin pystytään myös tarkastelemaan eroavaisuuksia kasan geometrian mallintumisessa (kuvat 15 ja 16).





Kuva 15. Pistepilvi kolmioituna.

Kuvia vertaillessa voidaan selkeästi havaita kasojen yhtenevät muodot ja todeta, että GPS-kartoituksella pystytään kartoittamaan kasan tilavuus pääpiirteittäin. Pistepilven lähempi tarkastelu osoittaa, että pienempiäkin vaihteluita kasan muodoissa saadaan tallennettua. Suurin laskentatulosten tarkkuuteen vaikuttava tekijä on pisteiden määrä ja sijainti, joita pistepilvellä on huomattavasti enemmän kuin GPS:llä mitatussa aineistossa. Tällä oletuksella voidaan ajatella pistepilveltä tehdyn tilavuuden laskennan olevan tarkempi.



Kuva 16. 3D-näkymä GPS-kartoituksella mitatusta kasasta. 3D-Win.

Photoscanilla pystytään määrittämään nopeasti kasojen tilavuuksia, mutta tulokset vaihtelevat toistettaessa mittaus samalle kohteelle, eivätkä näin ollen vaikuta yksiselitteisen luotettavilta (liite 2). Laskentatulosten keskiarvojen voidaan kuitenkin havaita olevan samansuuntaisia GPS-kartoituksen tulosten kanssa, joten voidaan arvioida Photoscanin soveltuvan karkeaan tilavuuden määrittämiseen (taulukko 2).



Taulukko 2. GPS-kartoituksen ja Photoscanilla määritettyjen kasojen tilavuuksien erot.

Raekoko	Pohjapinta- ala m <sup>2</sup>	Tilavuus m <sup>3</sup> GPS-kartoitus	Tilavuus m <sup>3</sup> Photoscan lento 1(*)	Tilavuus m <sup>3</sup> Photoscan lento 2 (*)
0-3AB	710	1932	1900	1860
0-8	363	509	465	498
0-8b	317	488	464	461
0-11	380	324	220	263
0-11SrT	722	1842	1587	1685
0-56	1407	4821	4887	4859
0-90	1944	9535	7429	7599
3-6	244	168	203	207
6-16	515	887	966	973
16-31	1893	7324	7473	7404
0-31	-	-	2391	2536
* = Tilavuudet laskettu keskiarvona liitteen 2 mukaisesti.				
** = Muokattu pistepilvi				
*** = Muokattu GPS-aineisto				

Tarkasteltaessa pistepilveä 3D-Win-ohjelmalla voidaan tilavuuden laskentaa tehdä maastomalleja yhdistämällä, eli samalla menetelmällä kuin GPS-kartoituksen mittausaineistolle. Vertailun vuoksi laskentaan voidaan myös käyttää GPS:llä mitattuja kasan ympäryksiä ja pistepilvelle tallentunutta tietoa kasan muodoista. Eri menetelmillä mitattuja ja laskettuja tuloksia vertaillen havaitaan, että kaikki tulokset ovat suurimmalta osin samansuuntaisia (taulukko 3).

Taulukko 3. Kasojen tilavuuksia eri laskentayhdistelmillä.

Raekoko	Tilavuus m <sup>3</sup> GPS-kartoitus	Tilavuus m <sup>3</sup> Photoscan lento 1(*)	Tilavuus m <sup>3</sup> Photoscan lento 2 (*)	Pistepilvi	Kasan ympärys GPS:llä, pinta pistepilveltä	Muokattu pistepilvi **
0-3AB	1932	1900	1860	1759	1885	1854
0-8	509	465	498	520	501	517
0-8b	488	464	461	570	582	532
0-11	324	220	263	331	324	319
0-11SrT	1842	1587	1685	1788	1860	1833
0-56	4821	4887	4859	5060	4847	4658
0-90	9535***	7429	7599	10610***	10539***	10518
3-6	168	203	207	217	189	212
6-16	887	966	973	901	929	985
16-31	7324	7473	7404	7228	7400	6859
0-31	-	2391	2536	2130	2865	2553
* = Tilavuudet laskettu keskiarvona liitteen 2 mukaisesti.						
** = Kasan pohjaa mallinnettu lisäämällä pisteitä kasan ympäryspisteiden keskiarvolla						
*** = Louhoksen alareunaa mallinnettu lisäämällä pisteitä kasan ympäryspisteiden keskiarvolla						

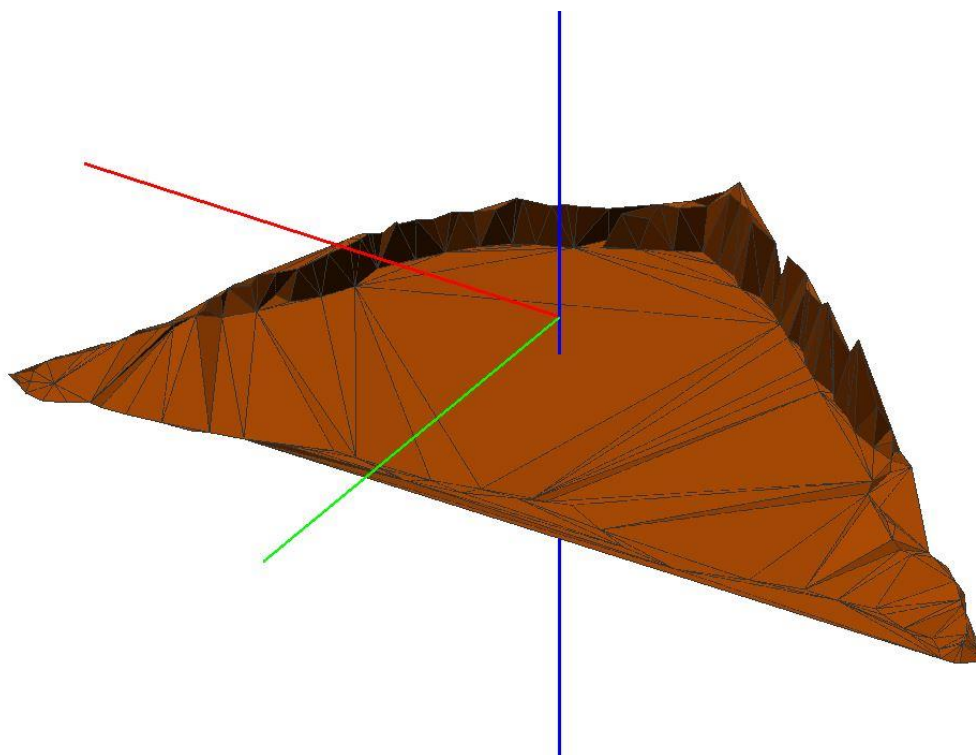
Tarkastelemalla kasojen tilavuuseroja prosentteina voi olla helpompaa hahmottaa erojen suuruutta eri laskentamenetelmien tulosten välillä (taulukko 4).

Taulukko 4. Kasojen laskennallisia tilavuuseroja prosentteina GPS-mittaustuloksiin suhteutettuna.

Raekoko	Tilavuus m <sup>3</sup> GPS- kartoitus	Tilavuus m <sup>3</sup> Photoscan lento 1	Tilavuus m <sup>3</sup> Photoscan lento 2	Pistepilvi	Kasan ympärys GPS:llä, pinta pistepilveltä	Muokattu pistepilvi
0-3AB	1932	2 %	4 %	9 %	2 %	4 %
0-8	509	8 %	2 %	2 %	2 %	2 %
0-8b	488	5 %	6 %	14 %	16 %	8 %
0-11	324	32 %	19 %	2 %	0 %	2 %
0-11SrT	1842	14 %	9 %	3 %	1 %	1 %
0-56	4821	1 %	1 %	5 %	1 %	3 %
0-90	9535	22 %	20 %	10 %	10 %	9 %
3-6	168	17 %	19 %	23 %	11 %	21 %
6-16	887	8 %	9 %	2 %	5 %	7 %
16-31	7324	2 %	1 %	1 %	1 %	6 %
0-31	-	-	-	-	-	-

Prosenttiluvuista voidaan helposti huomata karkeat virheet laskennassa, jotka voivat johtua esimerkiksi kasan pohjan mallintumisesta väärin (kasa 0–90). Toisaalta pienten kasojen kohdalla täytyy huomioida, että pienetkin erot tilavuuksissa näkyvät suurempana prosenttilukuna. Kasa 0–31 on jätetty pois vertailusta, koska sen tilavuutta ei saatu määritettyä GPS-kartoitusta tehdessä kasan geometriasta johtuen.

Muokkaamalla pistepilveä ja lisäämällä pisteitä kasan pohjan tasoon sen ympäryspisteiden keskiarvona voidaan mallintaa myös näkymätöntä osaa kasasta ja sisällyttämään laskentaan osia, jotka muutoin jäisivät pois (kuva 17).



Kuva 17. Louhoksen reunaa vasten olevan kasan (0–90) pohjan mallinnus.

Esimerkkinä louhoksen reunaa vasten sijaitsevan kasan 0–90 laskentatuloksissa voidaan nähdä huomattava ero verrattuna tuloksiin, joissa pohjaa ei ole erikseen mallinnettu (taulukko 5). Laskentatuloksia tarkastellessa tulee kuitenkin huomioida, että kasan pohjalle luodut pisteet ovat arvioituja oletuksia siitä, millainen pohjan taso voisi todellisuudessa olla.

Taulukko 5. Louhoksen reunaa vasten sijaitsevan kasan pohjan mallinnuksen vaikutus kasan tilavuuden laskentaan.

Raekoko	Pohjapinta-ala m <sup>2</sup>	Tilavuus m <sup>3</sup> GPS-kartoitus	Tilavuus m <sup>3</sup> Photoscan lento 1(*)	Tilavuus m <sup>3</sup> Photoscan lento 2 (*)	Pistepilvi	Kasan ympärysy GPS:llä, pinta pistepilveltä	Muokattu pistepilvi **
0–90	1944	9535***	7429	7599	10945***	10539***	10518
* = Tilavuudet laskettu keskiarvona liitteen 2 mukaisesti.							
** = Kasan pohjaa mallinnettu lisäämällä pisteitä kasan ympäryspisteiden keskiarvolla							
*** = Louhoksen alareunaa mallinnettu lisäämällä pisteitä kasan ympäryspisteiden keskiarvolla							

Menetelmää voidaan soveltaa kaikkien kiviainekasojen kohdalla ja sillä pyritään kuvaamaan kasan pohjaa mahdollisimman todenmukaisesti ja siten eliminoimaan kasan pohjan vääristyminen tilavuuden laskennassa.

Kasojen tiivistymistä ajan myötä tai kuormaimella kasan päälleajosta johtuen on vaikea arvioida tilavuuslaskennalla. Ajan myötä tapahtuvaa tiivistymistä on teoriassa mahdollista tarkastella, mikäli tiedetään kasan pohjan geometria, sekä voidaan kartoittaa sama kasa muuttumattomana esimerkiksi vuoden aikavälillä. Kasan tiivistymiseen vaikuttaa todennäköisesti monet seikat, kuten kasan raekoko ja sääolot, joten yhdessä mittausvirheet huomioiden on kuitenkin melko epävarmaa määrittellä tilavuutta laskemalla kuinka paljon tiivistymistä tapahtuu.

#### 4.1.2 Ajalliset erot

Mittausmenetelmien erotessa toisistaan huomattavasti, myös eri työvaiheisiin kuluu eri määrä aikaa (taulukko 6). Taulukkoa tarkastellessa nähdään, että UAV-kuvaukseen kului huomattavasti vähemmän aikaa kuin GPS-kartoitukseen. UAV-kuvauksessa itse lento on kulunut aika on melko lyhyt, ja enemmän aikaa kuluu signaalien asettamiseen ja mittaamiseen. Lisäksi kuvausalueelle edellispäivänä asetetuille signaaleille oli tarpeen tehdä tarkistusmittaus sekä puhdistaa yön aikana syntyneestä kuurasta ennen lentoja.

Taulukko 6. UAV-kuvauksen ja GPS-kartoituksen välisiä ajallisia eroja mittauksissa.

Mittaustyöhön kulunut aika					
UAV	Kellonaika	Kulunut aika	VRS-GPS	Kellonaika	Kulunut aika
Saapuminen Murtoon 4.12.2013	9:50		Saapuminen Murtoon 5.12.2013	9:50	
Signaalien asettaminen ja mittaus (3.12.2013)		1 h	11 kasan kartoitus		5 h
Lentovalmistelut ja 2 lentoa		40 min			
Signaalien tarkistusmittaus ja poiskerääminen		1 h			
Poislähtö	12:30		Poislähtö	14:50	

Verrattaessa sekä eri mittausmenetelmillä saatua aineistoa että mittaukseen kulunutta aikaa voidaan todeta GPS-kartoituksena tehtävän mittauksen vaativan verrattain paljon aikaa. UAV-kuvauksen ollessa maastotöiltään nopeaa, tarvitaan aikaa kuitenkin kuvien prosessointiin, johon Photoscanilla kuluu noin 2–3 tuntia. Tilavuuksien laskenta voidaan tehdä noin 1–2 tunnissa 3D-Win-ohjelmalla sekä pistepilvi- että GPS-mittausaineistolle. Aineiston käsittelyyn vaadittava aika riippuu alueen koosta, kasojen määrästä sekä niiden geometriasta, ja saattaa siten vaihdella kohdealuekohtaisesti.

Ajallisia eroja vertaillen täytyy huomioida mittausalueiden väliset erot ja mahdollisesti niistä aiheutuvat muutokset kuhunkin mittaustyövaiheeseen kuluneessa ajassa. Taulukossa 6 esitetyt ajat perustuvat vain yhden kohdealueen mittaukseen, ja siten niitä on katsottava suuntaa antavasti. Realistisesti voidaan kuitenkin arvioida, että päivässä ehtii siirtymiseen ja maastotöineen kuvata yhden tai kaksi kohdealuetta.

#### 4.2 Päätelmät

Tulosten samansuuntaisuudesta päätellen on selvää, että molempia vertailussa tarkasteltuja mittausmenetelmiä voidaan käyttää kiviainesten kartoituksessa. Absoluuttisen tarkan vertailukohdan puuttuessa on vaikea sanoa, kuinka paljon kukin

käytetyistä laskentatavoista poikkeaa todellisesta kiviainesmäärästä, mutta käyttämällä pistepilven havaintoja kasojen geometrian luomiseen sekä eliminoimalla karkeitä virheitä laskennassa voidaan arvioida tilavuuksien laskennan olevan mahdollisimman todenmukainen. Mittausmenetelmien erotessa toisistaan huomattavasti havaitaan menetelmissä myös erilaisia vahvuuksia ja heikkouksia kiviainesten kartoittamistehtävässä (taulukko 7).

Taulukko 7. Tarkasteltavien mittausmenetelmien vahvuuksia ja heikkouksia

<b>Menetelmien vahvuuksia ja heikkouksia</b>		
	<b>UAV</b>	<b>GPS-kartoitus</b>
<b>Vahvuudet</b>		
	Nopeus	Ei niin altis sääolosuhteille
	Ortokuva alueesta	
	Pistepilvi	
<b>Heikkoudet</b>		
	Lennoikin vaurioituminen	Mittauksen vaatima aika
	Alttius sääolosuhteille	Kartoittaessa kaatumis-/putoamisvaara

Ottaen huomioon eri menetelmien hyödyt ja haitat voidaan todeta UAV-kuvauksen soveltuvan hyvin kiviainesmäärien kartoittamiseen. Laskennalla koostettavan pistepilven tiheyden ollessa moninkertainen (järkevässä ajassa tehtävään) GPS-kartoitukseen verrattuna kasojen geometria on mahdollista määrittää tarkemmin. Tarkemman kasojen geometrian lisäksi pisteaineistoa muokkaamalla on mahdollista saada eliminoitua joitakin kasan pohjan geometriasta aiheutuvia laskentavirheitä. Georeferoitua ortokuvaa voidaan hyödyntää louhoksen etenemisen seurannassa, digitointiin sekä kasojen sijainnin määrittämisessä.

UAV-kuvauksen hyötyinä ovat sen nopeus kartoitustehtävässä ja siitä saatavat erilaiset lopputuotteet. Georeferoitua ortokuvaa voidaan käyttää kasojen sijainnin ja tilavuuden selvittämisen lisäksi esimerkiksi louhinnan etenemisen tarkkailuun sekä kohteiden digitointiin ortokuvalta. Maastossa tehtävä kartoitus vaatisi mittaajalta liikumista louhoksen reuna-alueella, jossa putoamis- ja sortumisvaara ovat ilmeisiä.

GPS-kartoituksella saavutettavat samankaltaiset mittaustulokset kertovat sen soveltuvan myös kiviainesten kartoitukseen. Menetelmänä maastossa tehtävä kartoitus on kuitenkin melko hidasta, ja kerätty pisteaineisto jää harvaksi UAV-kuvan pistepilveen verrattuna. Miehittämättömän lennokin huonoja puolia ovat sen alttius vaihteleville sääolosuhteille ja vaurioitumiselle mahdollisissa törmäyksissä. Kartoitustehtävässä käytetty Senseflyn swinglet CAM -lennokki ei ominaisuuksiensa puolesta sovellu välttämättä erityisen hyvin päivittäiseen käyttöön.

Kiviainestenottoalueen muuttuessa nopeasti alueelle olisi mahdollista rakentaa pidempiaikaisia kiinteitä signaaleja, jolloin mahdollistetaan alueen nopea kuvaus, kun erillisiä liikuteltavia signaaleita ei tarvitsisi asettaa joka kuvaukselle uudelleen vaan signalointipisteiden sijaintitiedot olisivat jo tiedossa.

Kiviainesmäärien tilavuuden laskennassa kasan pohjan mittaamisella ennen kasan tekoa voitaisiin pystyä laskemaan tilavuuksia entistä tarkemmin. Ongelmaksi koituu louhoksen pohjan laajeneminen rintausten etenemisen myötä, jolloin pohjaa tulisi kuvata tasaisin väliajoin ajantasaisen tilanteen ylläpitämiseksi.

Lennokkien hinnat vaihtelevat sen ominaisuuksien mukaan, mutta esimerkiksi Geotrimin markkinoiman Trimble UX5 -lennokkipaketin hinta on noin 50 000 €. Pakettiin sisältyy lennokki, vararunko, laukaisualusta, kamera, maa-asema eli Tablet PC, tarvittavat akut ja laturit sekä Trimble Business Center Photogrammetry -ohjelma aineiston käsittelyyn sekä koulutus lennokin käyttöön [18].

Tulevaisuudessa miehittämättömät lennokit tulevat todennäköisesti kehittymään yhä monipuolisemmiksi, ja niitä pystytään varustamaan erilaisilla kuvausinstrumenteilla. Päivitettävässä lainsäädännössä miehittämättömiä lennokkeja koskevaa säädäntöä pyritään selkeyttämään ja mahdollistamaan lennokkien käyttö entistä laajemmin.

## Lähteet

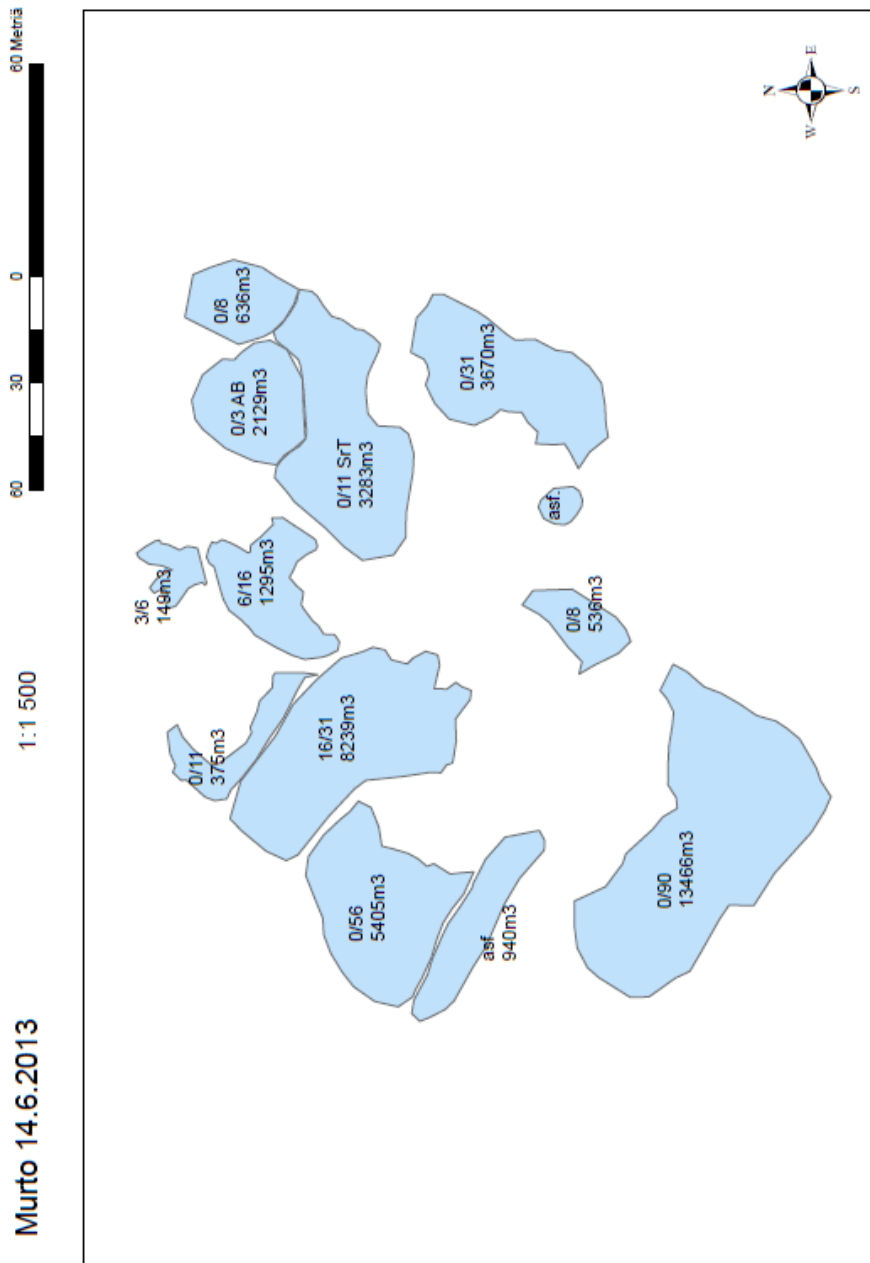
- 1 Hassinen, Alpo. 2013. UAV-lennokit, kokemuksia UAV-laitteista. Mekrijärven tutkimusasema, Itä-Suomen yliopisto. (PDF)
- 2 Newcome, Laurence R. 2004. Unmanned Aviation, A Brief History of Unmanned Aviation. Barnsley, Great Britain. Pen and Sword Aviation.
- 3 Salmenperä, Hannu. 2004. Fotogrammetria. TTK julkaisuja. Tampere. TTY-paino
- 4 Ilmailun sidosryhmätilaisuus. Trafi. 14.11.2013. Power-point
- 5 Kostamo, Miika. 2013. Digitaalinen fotogrammetria opintojakso, luentokalvot. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 6 Miehitämätön lentoalus kartoittaa vaaralliset kohteet. Positio-lehti. 3/2008. Verkkodokumentti.  
<[https://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/pos\\_3\\_2008\\_miehitamaton\\_lentoalus\\_kartoittaa\\_vaaralliset\\_kohteet](https://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/pos_3_2008_miehitamaton_lentoalus_kartoittaa_vaaralliset_kohteet)> Luettu 17.12.2013
- 7 Uusia asiakkaita ilmakuvauselle. Positio-lehti. 3/2011. Verkkodokumentti.  
<[http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/positio\\_3\\_2011\\_uusia\\_asiakkaita\\_ilmakuvauselle](http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/positio_3_2011_uusia_asiakkaita_ilmakuvauselle)> Luettu 17.12.2013
- 8 U.S. Air Force Fact Sheet. MQ-1B Predator. Verkkodokumentti.  
<<http://archive.is/UcGI>> Luettu 8.2.2014
- 9 Aluevalvontalaki. 18.8.2000/755. Verkkodokumentti. Finlex.  
<<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000755>> Luettu 10.2.2014
- 10 Ilmatilan kokonaisuudistus. Verkkodokumentti. Trafi.  
<[http://www.trafi.fi/ilmailu/organisaatioluvat/ilmatilan\\_kokonaisuudistus](http://www.trafi.fi/ilmailu/organisaatioluvat/ilmatilan_kokonaisuudistus)> Luettu 18.2.2014
- 11 Fotogrammetrian perusteet, luento 8. Verkkodokumentti. Aalto yliopisto.  
<<http://foto.hut.fi/opetus/300/luennot/8/8.html>> Luettu 17.12.2013
- 12 Fotogrammetrian yleiskurssi, luento 10. Verkkodokumentti. Aalto yliopisto.  
<[http://foto.hut.fi/opetus/301/luennot/10/10\\_print\\_pr.html#Kuvablokki](http://foto.hut.fi/opetus/301/luennot/10/10_print_pr.html#Kuvablokki)> Luettu 17.12.2013
- 13 senseFly swinglet CAM User Manual, Revision 2.2/November 21, 2011 (PDF)



- 14 Lentävä pallogrilli löytää kuolleen poron. 25.5.2012. YLE-verkkouutinen. Verkkodokumentti. YLE.  
<[http://yle.fi/uutiset/lentava\\_pallogrilli\\_loytaa\\_kuolleen\\_poron/6134963](http://yle.fi/uutiset/lentava_pallogrilli_loytaa_kuolleen_poron/6134963)> Luettu 10.2.2014
- 15 Lentoreitti. Google earth. 8.12.2013
- 16 Lentoaluksen kiertymiskulmat. Verkkodokumentti  
<[http://mtp.mjmahoney.net/www/notes/pointing/Aircraft\\_Attitude2.png](http://mtp.mjmahoney.net/www/notes/pointing/Aircraft_Attitude2.png)>
- 17 Orthophoto & DEM Generation with Agisoft PhotoScan Professional. Verkkodokumentti. Agisoft. <<http://www.agisoft.ru/tutorials/photoscan/01/>>
- 18 Fransman, Ulf. Geotrim. Sähköpostiviesti 10.3.2014
- 19 Liikkuva kartoitus ja laserkeilaus. Verkkodokumentti. Geodeettinen laitos.  
<<http://www.fgi.fi/fgi/fi/tutkimus/tutkimusryhmat/liikkuva-kartoitus-ja-laserkeilaus>> Luettu 10.3.2014
- 20 Current Developments in Airborne Laser Scan.. 8/2013 Volume 16. Verkkodokumentti. GEO Informatics. < [http://fluidbook.geoinformatics.com/GEO-Informatics\\_8\\_2013/#/1/](http://fluidbook.geoinformatics.com/GEO-Informatics_8_2013/#/1/)> Luettu 10.3.2014
- 21 Next Generation of UAVs. Aerial Mapping Spring '13 Issue. Verkkodokumentti. Professional Surveyor.  
<<http://www.profsurv.com/magazine/article.aspx?i=71293>> Luettu 13.3.2014
- 22 Leica RCD30 for UAV. 2012. Verkkodokumentti. Leica Geosystems.  
<[http://www.minesurveyors.com.au/files/Leica\\_swissdrones\\_flyer\\_a4\\_final\\_lowres.pdf](http://www.minesurveyors.com.au/files/Leica_swissdrones_flyer_a4_final_lowres.pdf)> Luettu 13.3.2014
- 23 Laser microdrone takes mining to a new level. 6.11.2013. Verkkodokumentti. sUAS News. <<http://www.suasnews.com/2013/11/25924/laser-microdrone-takes-mining-to-a-new-level/>> Luettu 13.3.2014

## Kasakartta Murto, Pornainen 14.6.2013

Kasojen identtifoimiseen käytetyt raekoot 14.6.2013 tilanteen mukaisesti.



**Kasojen tilavuudet, Photoscan**

Photoscanin tilavuuden laskennalla määritetyt kasojen keskimääräiset tilavuudet.

Raekoko	Tilavuus m <sup>3</sup> Photoscan lento 1			Keskiarvo	Tilavuus m <sup>3</sup> Photoscan lento 2			Keskiarvo
0-3AB	1840	1980	1880	1900	1863	1853	1865	1860,333333
0-8	478	451	465	464,6666667	479	508	507	498
0-8b	481	463	448	464	441	461	481	461
0-11	219	249	192	220	233	272	284	263
0-11SrT	1574	1639	1547	1586,666667	1782	1611	1663	1685,333333
0-56	4901	4956	4805	4887,333333	5058	4745	4775	4859,333333
0-90	7206	7032	8048	7428,666667	7148	8543	7106	7599
3-6	197	203	208	202,6666667	208	197	216	207
6-16	933	1001	964	966	952	964	1003	973
16-31	7467	7435	7518	7473,333333	7516	7308	7388	7404
0-31	2244	2267	2662	2391	2484	2674	2451	2536,333333