



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

MAAMASSOJEN MITTAUS JA MALLINTAMINEN DRONELLA HEINJOEN MAANKAATOPAIKALLA

Alaotsikko

TEKIJÄ/T:

Jani Mähönen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Jani Mähönen	
Työn nimi MAAMASSOJEN MITTAUS JA MALLINTAMINEN DRONELLA HEINJOEN MAANKAATOPAIKALLA	
Päiväys 14.5.2021	Sivumäärä/Liitteet 19
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kuopion kaupungin kuntaliikelaitos Mestar	
Tiivistelmä Opinnäytetyön tilaajana oli Kuopion kaupungin kuntaliikelaitos Mestar, joka halusi selvittää dronen hyödyntämistä maamassojen mittauksessa ja mallinnuksessa. Tutkimuskohteena oli Heinjoen maankaatopaikka ja siellä "Kasa 2". Tilaajalla oli jo laitteistoa hankittuna muihin tarpeisiin ja kyseiseen työhön oli hankittu lisä ohjelmistoja, jota käytettiin kyseisessä selvittelyssä. Maankaatopaikan maamassamäärien tarkkailun tärkeys on noussut aikaisemmasta ja tällä työmenetelmällä on tarkoitus nopeuttaa ja ennen kaikkea helpottaa massamäärien seuranta perinteiseen mittamiehen tekemiin mittauksiin nähden. Tarkoitus oli vertailla erilaisia tapoja, miten eri lentoasetukset vaikuttavat mittaus tuloksiin ja vertailla niiden tuloksia perinteisesti mitattuihin tuloksiin sekä käytettyyn aikaan. Työn lopputuloksena voitiin pohtia voiko dronella mitattuja tuloksia käyttää massamäärien tilastointiin, millä lentoasetuksilla saadaan paras lopputulos sekä kuinka paljon aika ja kustannussäästöä syntyy aikaisempaan toimintatapaan nähden.	
Avainsanat Drone, 3d-mallinnus, massalaskenta	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Master's Degree Programme In Civil Engineering	
Author(s) Jani Mähönen	
Title of Thesis Measuring and Modelling of Land Mass with Drone at the Heinjoki Landfill	
Date 18 May 2021	Pages/Appendices 19
Client Organisation /Partners Kuopion kaupungin kuntaliikelaitos Mestar	
<p>Abstract</p> <p>This final project was commissioned by Mestar, that wanted to study utilization of drone in measuring and modeling of soil/landmass. The study was done at Heinjoki landfill area and there more specifically pile "Kasa 2". The purpose of this study was to find out the influence of the flight metod to the measuring results and to compare them to the results and time needed when using the traditional measuring methods. The client had already purchased equipment for other purposes as well as the required software for this study. The importance of follow up of land mass at landfill areas has increased. The purpose of this method was to speed up and to make it easier to control land masses compared to the traditional measuring methods.</p> <p>As a result, it was possible to consider whether the results of the drone measurements could be used for statistical analysis of land mass, with which flight methods gave the best results and how much time and money were saved compared to the traditional methods.</p>	
<p>Keywords</p> <p>Drone, 3d-modeling, mass calculation</p>	

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	DRONELLA MALLINTAMINEN YLEISESTI.....	6
2.1	Dronella lentämisen säännöt.....	6
3	TIETOJA KÄYTETTÄVÄSTÄ LAITTEISTA JA OHJELMISTOISTA	8
3.1	Laitteisto	8
3.2	Ohjelmistot.....	8
3.3	Fotogrammetrisen mittauksen perusteet ja ero laserkeilaukseen	9
4	TUTKIMUSKOHDDE	11
5	KÄYTETTÄVÄT MENETELMÄT	12
5.1	Perinteinen mittamiehen tekemä mittaus.....	12
5.2	Dronella mittaaminen	12
6	MITTAUS JA AINEISTON KÄSITTELY	13
6.1	Lento 50m korkeudella	13
6.2	Lento 75 metrin korkeudella	14
6.3	Lento 100 metrin korkeudella	15
6.4	Mittamiehen suorittama mittaus.....	16
7	TULOSTEN VERTAILU	17
8	YHTEENVETO.....	18
9	LÄHTEET	19

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tilaajana Kuopion kaupungin kuntaliikelaitos Mestar halusi selvittää dronen hyödyntämistä maamassojen mittauksessa ja mallinnuksessa. Kohteena Heinjoen maankaatopaikka. Tilaajalla oli jo laitteisto hankittuna muihin tarpeisiin ja kyseiseen työhön tuli ohjelmisto, jota käytettiin massalaskennassa ja mallintamisessa.

Maamassamäärien tarkkailun tärkeys on noussut maankaatopaikalla aikaisemmasta ja tällä työmenetelmällä oli tarkoitus nopeuttaa ja helpottaa massamäärien seuranta perinteiseen mittamiehen tekemiin mittauksiin nähden. Tarkoitus oli vertailla erilaisia tapoja, miten eri lentoasetukset vaikuttavat mittaus tuloksiin ja vertailla niiden tuloksia perinteisesti mitattuihin tuloksiin sekä käytettyyn aikaan. Työn lopputuloksen perusteella voitiin todeta voiko dronella mitattuja tuloksia käyttää massamäärien tilastointiin, millä lentoasetuksilla saadaan paras järkevin lopputulos sekä kuinka paljon aika- ja kustannussäästöä syntyy aikaisempaan mittamiehen tekemään työhön nähden.

2 DRONELLA MALLINTAMINEN YLEISESTI

Dronen hyötykäyttö on kasvanut huomasti viime vuosien aikana huvikäytöstä ammattimaiseen toimintaan monella tapaa, 3d-mallintaminen on vain yksi käyttötarkoitus dronelle. 3d-malli voidaan tehdä rakennuksista, kaupunki ympäristöstä, maanteistä, maa-alueista yms. Näin saadaan nopeasti luotua malli isoistakin alueista nopeasti ja hyvin pienellä vaivalla.

Mallintamiseen sopivia laitteita löytyy erilaisia, paremmissa laitteissa on GNSS-paikannus, jolla saadaan kohdistettua malli oikeaan asemaan maastossa myös ilman ennakkoon tehtäviä signaalipisteitä. Signaalipisteillä voidaan tarkentaa mittaustulosta myös GNSS:llä varustellun dronen kanssa.

Dronella mallintaminen tapahtuu kuvia ottamalla, joista saadaan tehtyä pistepilvi ja siitä korkeus sekä sijainti tiedot. Tästä saadaan tehtyä 3d-malli, josta taas voidaan esimerkiksi laskea massat tai verrata sitä vaikka jo tehtyihin suunnitelmiin tai tehdä suunnitelmat tälle pohjalle.

Mallin tarkkuus vaihtelee käytettävästä laitteistosta, lento-olosuhteista ja lentoasetuksista (nopeus, korkeus ja kuvien määrä) riippuen sentistä muutama kymmeneen senttiin. Myös käytettävät, ennakkoon mitatut ja merkatut signaalipisteet vaikuttavat tarkkuuteen.

2.1 Dronella lentämisen säännöt

Koko EU:n Dronelennättämisen yhtenäistävä asetusta tuli voimaan 31.12.2020, jonka mukaan kaikkien droneja lennättävien harrastajien ja ammattilaisten pitää rekisteröityä ja perehtyä dronejen lennättämiseen sekä pääsääntöisesti suorittaa koe. Aikaisemmin ilmoitusvelvollisuus on ollut ainoastaan ammattilaisilla.

EU:n droneasetus pähkinänkuoressa

Avoin-kategoriassa toiminta tapahtuu aina näköyhteydessä, alle 120 metrin korkeudella, alle 25 kg:n dronella. Dronen käyttäjän on pääsääntöisesti rekisteröidyttävä ja kauko-ohjaajan suoritettava pääsääntöisesti vähintään verkkotentti.

Alakategoriassa A1 sallitaan yksittäisten ihmisten päällä lentäminen kevyillä laitteilla. Kategoriassa A2 sallitaan hieman raskaampien dronejen käyttö, mutta toiminnan on tapahduttava sivussa ihmisistä. Kategoriassa A3 toiminta tapahtuu aina kaukana asutuksesta ja ihmisistä. Tällöin toiminta on mahdollista myös raskaammilla droneilla. Tarkemmat dronejen vaatimukset on esitetty alla olevassa taulukossa:

Kategoria	Avoin A1	Avoin A2	Avoin A3
CE-merkinnät	C0 ja C1	C2	C2, C3 ja C4
Maksimipaino	900 grammaa	4 kg	25 kg
Rajoitukset	Lentäminen sallittu yksittäisten ihmisten yli, mutta ei ihmisjoukkojen päällä UAS-ilmatilavyöhykkeet tulee huomioida	Lentäminen sallittu turvallisella etäisyydellä ihmisistä UAS-ilmatilavyöhykkeet tulee huomioida	Lentäminen sallittu kaukana ihmisistä ja asutuksesta UAS-ilmatilavyöhykkeet tulee huomioida
Koulutusvaatimus	Yli 250 gramman laitteen kauko-ohjaajan tulee olla suorittanut verkkotentti	Verkkotentti ja valvottu lisäteoriakoe	Verkkotentti

Kuva 1: Taulukko Avoin-kategorian droneista ja niillä lentämisestä sekä koulutusvaatimuksista. Droneinfo 2020.

Jos toiminta ei ole mahdollista avoimen kategorian säännöillä, tulee se toteuttaa erityinen- tai sertifioidutkategorioissa.

Eriyinen-kategoriassa toimijan on haettava erillinen toimintalupa. Luvan voi saada joko EASAn julkaiseman vakioskenaarion mukaisesti ilmoituksella tai hakemalla omalle toiminnalleen toimintaluvan Liikenne- ja viestintävirasto Traficomilta. Lupaa varten tarvitaan riskiarviointi toiminnasta.

Jos toimintaan liittyy ihmisjoukkojen päällä lentämistä, ihmisten kuljettamista tai vaarallisten aineiden kuljettamista, toiminta tulee toteuttaa sertifioitu-kategoriassa, minkä osalta valmistelut ovat vielä keskeneräisiä. Sertifioitu-kategoriaan liittyviä standardeja ei ole vielä julkaistu, joten luvan saaminen tähän kategoriaan ei vielä ole käytännössä mahdollista.

Lenkkikerhot voivat hakea itselleen lupaa, jonka nojalla voidaan luvan mukaisesti poiketa avoimen kategorian vaatimuksista. Lisäksi lenkkitoiminnan mahdollistamiseksi tullaan perustamaan UAS-ilmatilavyöhykkeitä, joilla sallitaan avoimen kategorian sääntöjä väljemmät säännöt esim. lentokorkeuden osalta. (<https://droneinfo.fi/fi/eun-dronesaaannot>)

3 TIETOJA KÄYTETTÄVÄSTÄ LAITTEISTA JA OHJELMISTOISTA

3.1 Laitteisto

Tässä työssä käytössä ollut laite oli DJI Phantom 4 RTK, joka valmistajan mukaan mahdollistaa 100 metrin lentokorkeudelta 2.7 cm / pikseli tarkkuuden ja kopterin sisälle integroitu RTK moduuli mahdollistaa reaaliaikaisen ja erittäin tarkan paikkatiedon tallentamisen kuvan exif- eli Metatiedostoon. RTK moduulin alapuolelle sijoitettu kahdennettu GNSS moduuli huolehtii dronen vakaudesta myös vaikeissa signaaliolosuhteissa kuten kaupunkiympäristöissä ja voimalinjojen ja GSM-tukiasemien lähellä. Mallintamiseen on myös mahdollista saada tarkkuutta lisäämällä maatukiasema, jota kyseinen laite voi hyödyntää.

(www.fotonordic.fi/product/111073/dji-phantom-4-rtk)



Kuva 2 : DJI Phantom 4 RTK. Mähönen 2020.

Mittamiehen käyttämä laitteisto oli Trimble R10, GNSS paikannuksella oleva mittalaitteisto

3.2 Ohjelmistot

Kuvien fotogrammetriseen käsittelyyn käytimme Agisoft Metashape ohjelmaa, joka tuotti 3d-paikkatietoa, josta saatiin luotua tiheä pistepilvi ja mesh-malli, eli kolmioverkkomalli kuvatusta kohteesta.

Pistepilvestä massalaskennat tehtiin 3d-Win ohjelmalla. Samaa ohjelmaa käytettiin myös mittamieheltä saadun aineiston käsittelyyn.

Näistä oli yrityksen sisällä jo ennakkoon kokemusta, joka oli todettu toimivaksi, joten hyödynsimme sitä.

3.3 Fotogrammetrisen mittauksen perusteet ja ero laserkeilaukseen

Fotogrammetrisen mittausprosessi on valokuvaamiseen perustuva peräkkäisten toimintojen ketju, jolla 3-D kohteesta tuotetaan geometrialtaan tulkittu 3-D malli. Sen vaiheita ovat

- 1) kohteen koordinaatiston määrittäminen ja sen osoittaminen,
- 2) kohteen kuvaaminen,
- 3) otettujen kuvien orientointi, ja lopuksi
- 4) kuvien 3-D tulkinta ja kohteen mittaus.

Fotogrammetrian menetelmien kannalta tärkeimmät osatehtävät sisältyvät kuvien geometriseen käsittelyyn eli orientointeihin, joilla hallitaan koordinaatistomuunnokset kohteesta kuville ja kuville edelleen 3-D mallille.

Ilmakuvien tehtävänä on "nähdä" maasto koordinaatistossa niin, että jokaiselle kuvalta tulkittu maaston yksityiskohdalle saadaan määritettyä 3-D koordinaatit. Fotogrammetrisen kartoitusprosessin geodeettisena tavoitteena voidaan pitää sitä, että vaikka kartoitusta tehdään samalla alueella eri aikoina ja eri menetelmin, kaikki kohteet tulee kartoitettua samaan yhtenäiseen koordinaatistoon. Tällä on merkitystä, koska nykyään kartoitustehtävä on yhä useammin täydennyskartoitusta ja vanhan kartta-aineiston päivitystä ja menetelmät perustuvat kuvien ja karttojen keskinäiseen vertaamiseen.

(<https://foto.aalto.fi/opetus/300/luennot/7/7.html>)

Fotogrammetrian käyttö vs. lasermittaus

Fotogrammetrian käyttö varsinkin maan mittaamisessa mahdollistaa 3D-mallinnusten luomisen kaksiuuloitteisista kuvista. Syöttämällä 2D-kuvat tiettyyn ohjelmaan pystytään siis luomaan esimerkiksi minikokoinen versio kuvatusta alueesta. Mittaamishetkellä tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että tietyistä alueista tai kohteista otetaan yksi tai useampi kuva. Mikäli luodaan 3D-mallia, tulee kuvia ottaa tietenkin eri näkökulmista, eli kameran paikkaa tulee vaihtaa usein. Mitä kattavammin kuvia on saatavilla useista eri kulmista, sitä varmemmin 3D-malli pystyy tuomaan esille kaikki halutut yksityiskohdat.

Kun kuvat on otettu, ne syötetään asiaan sopivaan ohjelmaan ja näitä voidaan ostaa joko netistä tai ladata vaikka ilmaiseksi! Ohjelma tulee siirtämään otetut kuvat tietylle alustalle, joka myös mahdollistaa etäisyyksien laskemisen. Mittojen saamiseksi ohjelmisto käyttää kolmiomittausta, saadakseen selville eri etäisyydet, korkeudet, leveydet ja syvyydet. Parhaimmillaan tämän teknologian avulla voidaan luoda pienoismalleja, vaikka kokonaisuudesta suurkaupungista, kunhan kuvia on tarpeeksi ja niissä on osattu huomioida jokainen tarvittava kulma, ettei epähuomiossa mikään unohdu.

Fotogrammetrian sijasta aikaisemmin käytössä ollut laserkuvaus on vieläkin joissain alueilla vahvana, varsinkin jos teknologian taso ei ole alueella vielä kovin korkealla. LiDAR eli laserskannaus on

hyvin samantyyppinen menetelmä kuin fotogrammetrinen kuvaaminen, mutta siinä tulee toki huomioida omat asiansa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tietylle alueelle kiinnitetään piste, johon sen jälkeen tähdätään laser. Laserpulssi mittaa etäisyyden ja kirjaa sen talteen. Näin siis laserkuvauksessa ei tarvitse ottaa lukuisia kuvia, vaan se pystyy mittaamaan yhden etäisyyden vain yhdellä nopealla pulssilla. Joskus lasermittauksen käyttäminen onkin parempi vaihtoehto, riippuen siitä mitä lopputulokselta halutaan. Jos tarkoitus on ainoastaan mitata tietty etäisyys, vaikka hyvin tiheässä kasvustossa, sopii laser tehtävään fotogrammetrian sijaan, sillä fotogrammetria ottaisi liian monta yksityiskohtaa huomioon.

Yleisesti ottaen fotogrammetria on kaikin puolin tehokkaampi mittaamistapa ja se mahdollistaa monipuolisemman käytön tiedolle. Toisaalta taas laserkuvaukset ovat edelleen tarvittuja tiettyihin kohteisiin, joissa fotogrammetrian käyttö tekisi mittaamisesta hyvin haastavaa tai toisi turhauttavan suuren työmäärän.

(<http://pieneering.fi/fotogrammetrian-lukuisat-edut/fotogrammetrian-kaytto-vs-lasermittaus/>)

Tässä kohteessa maakeilaimella tehty laserkeilaus ei olisi edes vaihtoehto koska jatkuva seuranta vaatisi laitteiston hankkimista ja keilaukseen menisi enemmän aikaa. Ilmakuvauksella työn saa suoritettua nopeammin ja olemassa olevalla kalustolla.

4 TUTKIMUSKOHDE

Tutkimuskohteena oli Heinjoen maankaatopaikka, joka toimii Kuopion kaupungin hoitamana ylijäämä maamassojen vastaanottoaikkana. Alueella on ampuma- ja moottoriurheilualue, missä ylijäämämassoja hyödynnetään meluvallien ja suorituspaikkojen rakentamisessa. (www.kuopio.fi/katu-ja-viherrakentaminen)

Alueelle on myönnetty ympäristölupa, jonka vuoksi maamassojen määrästä on pidettävä kirjaa. Tämän työn kohde oli kohtalaisen pieni, "Kasa 2" joka pohjapinta-alaltaan oli noin 2 ha. Kyseistä kasaa täytettiin parhaillaan ja pystyimme samalla seuraamaan suunnitellussa mallissa pysymistä muotojen ja korkeuden osalta. Teimme myös toiselle isommalle kasalle tarkistusmittauksen suunniteltuun malliin nähden verraten, joka oli jo lähes valmis, mutta loppu muotoilua oltiin tekemässä.

5 KÄYTETTÄVÄT MENETELMÄT

5.1 Perinteinen mittamiehen tekemä mittaus

Kasan tilavuutta mitatessa mittamies tekee mittapisteitä, joiden perusteella tilavuus voidaan määrittellä. Mittapisteet tehdään yleensä pohjan tasalle kiertäen kasa, taitekohtiin, josta saadaan viisteet ja kasan päälle. Mitä enemmän pisteitä, sitä tarkempi malli mutta taas "turhien" pisteiden mittaaminen vie aikaa.

Isoissa ja monimuotoisissa kasoissa tarvittavat mittapisteiden paikat kasvattavat väkisin pisteiden määrää ja se vaikuttaa myös tarkkuuteen ja käytettyyn aikaan.

Kun pisteet on saatu mitattua, siirretään aineisto 3d-Win ohjelmaan, jolla voidaan laskea tehdystä pisteverkosta kasan tilavuus

5.2 Dronella mittaaminen

Dronella mittaamisen alustava työ voidaan tehdä jo ennen kohteeseen saapumista. Lentosuunnitelma voidaan tehdä joko tietokoneella tai dronen ohjaimesta suoraan. Lentosuunnitelma voidaan tehdä jo olemassa olevalle ortokuvalle, jossa määritellään rajat, minkä sisällä lento suoritetaan. Tätä samaa suunnitelmaa voidaan käyttää myös mahdollisissa seuraavissa lennoissa, jolloin tulee täsmälleen sama alue kuvattua. Lisäksi myös lentoasetukset voidaan jo tehdä ennakkoon. Päätetään lentokorkeus, lentonopeus, kuvaustapa, päällekkäisyysuhde yms.

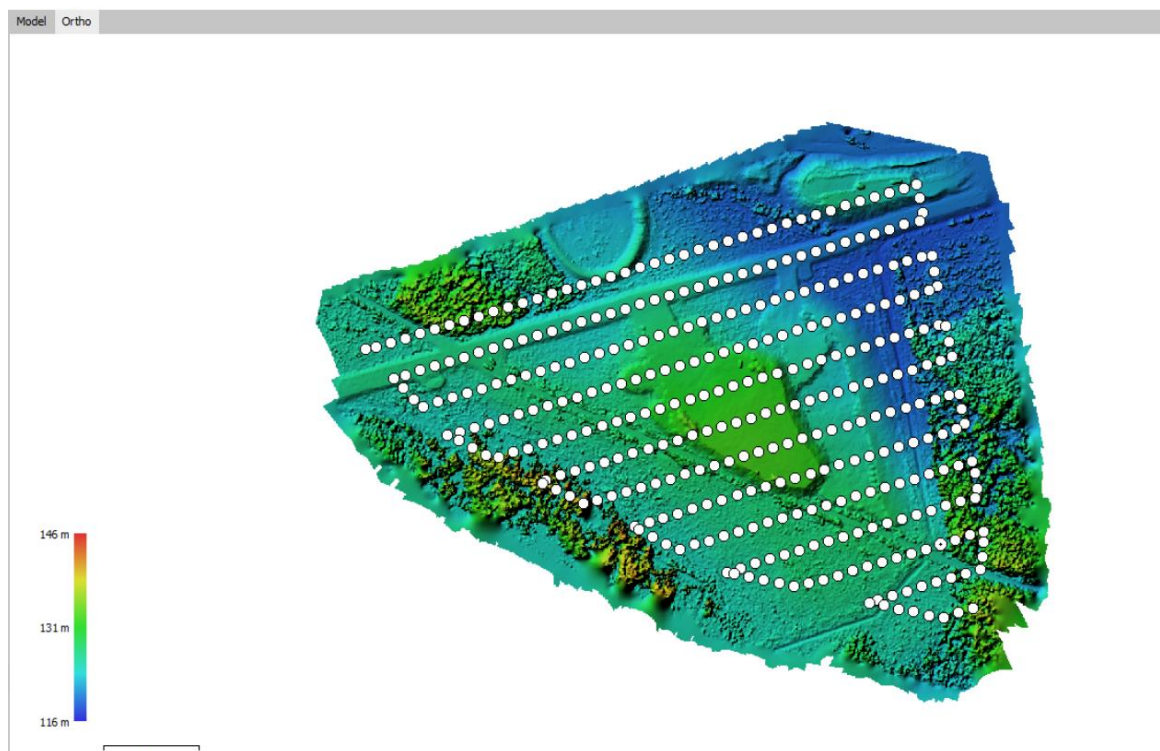
Itse kohteessa lentäminen DJI Phantom 4 RTK dronella tapahtuu käytännössä automaattisesti lentosuunnitelman pohjalta. Laite lentää suunnitellun alueen joko automaattisesti tai käsin suunnitellun kuvion mukaisesti. Käsin voidaan järkevöittää kuvattavan alueen muotojen mukaisesti dronen seuranta ja mahdollisten akun vaihtojen paikkaa sekä käännösten määrää.

6 MITTAUS JA AINEISTON KÄSITTELY

Mittaus lennot suoritettiin 2d mittauksina 50 metrin ja 100 metrin korkeuksista sekä 3d mittauksena 75 metrin korkeudesta. Näiden lentojen perusteella pystyttiin vertailemaan eri korkeuksilla tehtyjen lennoissa käytettyä aikaa ja lopputulosten tarkkuutta. Kaikissa lennoissa kamera-asetukset oli samat, pois lukien 3d lentoa jossa kamerakulma on eri.

6.1 Lento 50 metrin korkeudella

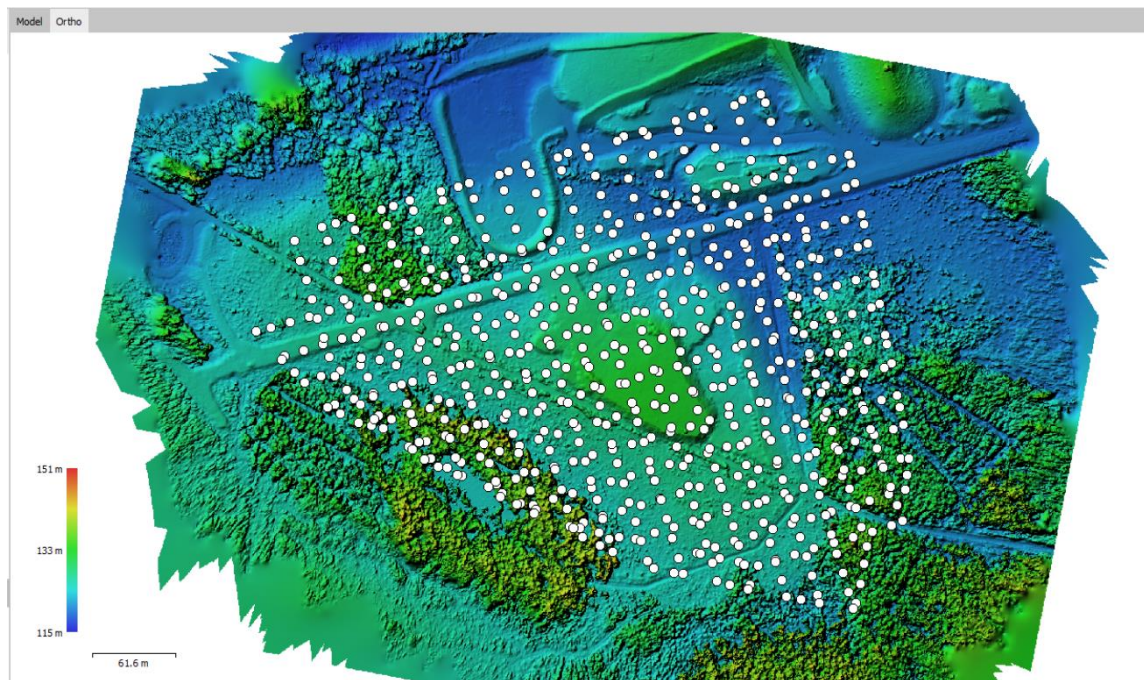
Lento 50 metrin korkeudella tuotti yhteensä 352 kuvaa kamerakulman ollessa suoraan alaspäin. Lentoaika 14 minuuttia, jonka suoritettiin yhdellä akulla.



Kuva 3 : Dronella 50 metrin korkeudella lennetyinä (352 kuvaa). Mähönen 2020.

6.2 Lento 75 metrin korkeudella

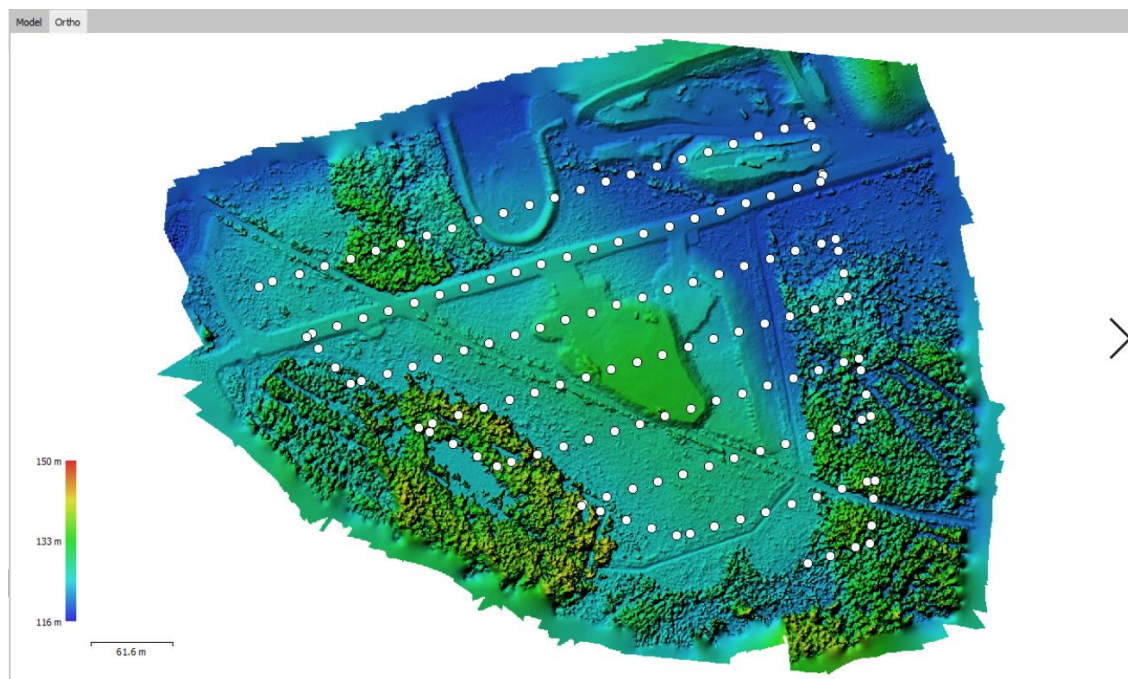
Toinen lento tehtiin 75 metrin lentokorkeudella ja kuvaus 3d kuvauksena. Tällöin kamerakulma on 45 astetta ja lentäminen alueen yli tapahtuu ristiin. Kuvia lento tuotti 688 kuvaa ja lento aika 33 minuuttia, joka sisälsi akun vaihdon kesken lennon.



Kuva 4 : Dronella 75m korkeudella lennetyinä 3D kuvauksella (688 kuvaa). Mähönen 2020.

6.3 Lento 100 metrin korkeudella

Kolmas lento suoritettiin 100 metrin korkeudella, josta tuloksena 147 kuvaa 6 minuutin lentoajalla kuvakulman ollessa suoraan alaspäin. Lentoaika oli sen verran lyhyt, että se suoriutui myös ilman akun vaihtoa.

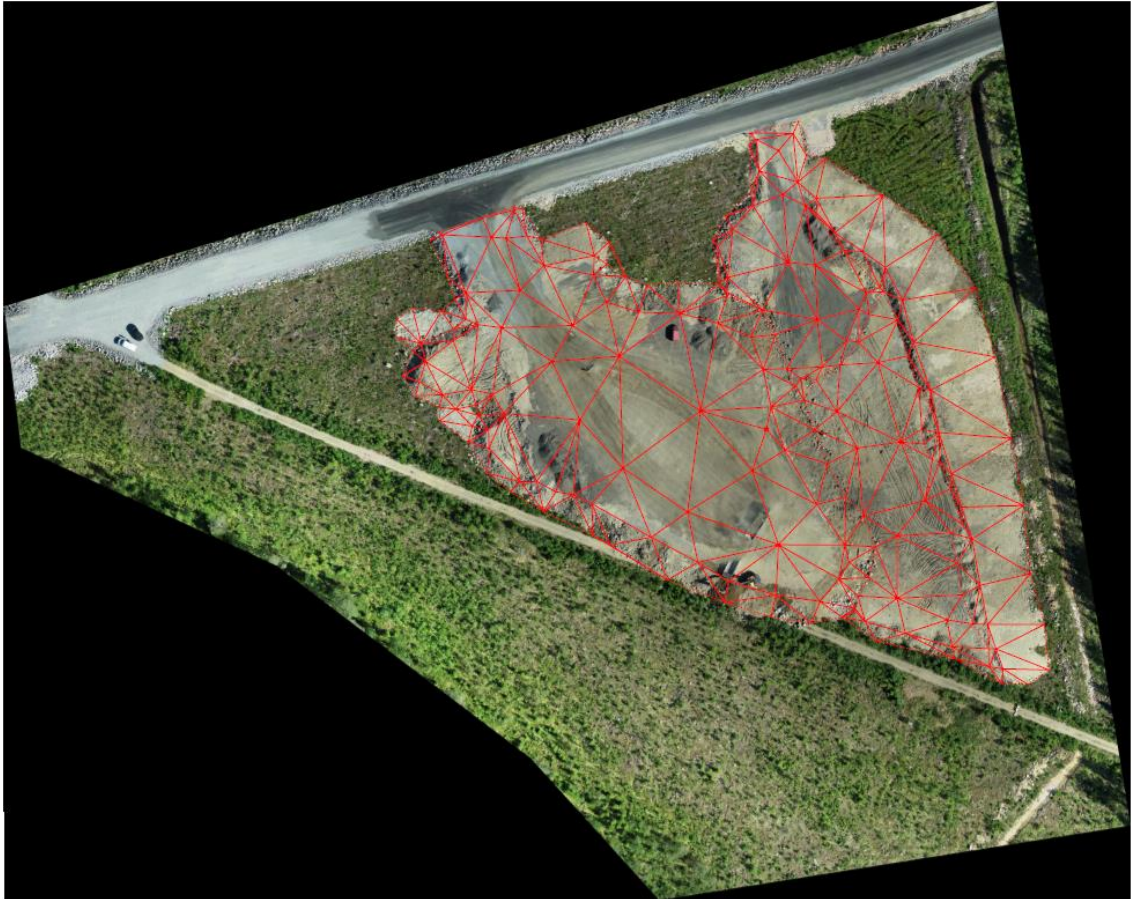


Kuva 5 : Dronella 100m korkeudella lennettyä (147 kuvaa). Mähönen 2020.

6.4 Mittamiehen suorittama mittaus

Mittamies kiersi kasan pohjan helmat, taitekohdat ja parhaaksi katsomansa paikat keräten mittapisteitä ympäri kasaa. Teki työn kuin olisi sen tehnyt ilman vertailua dronen tuotoksiin niin ajallisesti kuin tarkkuudellisesti. Näin saatiin kohtuu vertailukelpoinen tulos.

Aikaa mittapisteiden luontiin meni 75 minuuttia.



Kuva 6 : Mittamiehen tekemät mittauspisteet ja siitä luotu verkko. Mähönen 2020.

7 TULOSTEN VERTAILU

Tuloksia vertaillessa otettiin huomioon kohteessa käytetty aika, materiaalien käsittelyyn käytetty aika ja tulosten tarkkuus kyseiseen kohteeseen.

Lentoaikoihin lisätään vielä signaalipisteillä tarkennettuihin tuloksiin mittamiehen tekemien signaalipisteiden merkkaukseen käytetty aika. Näitä pisteitä tosin pystyy hyödyntämään jatkossakin tulevilla lennoilla ja mittauksissa.

Dronen tuottamien kuvien käsittely vie aikaa, jonka tietokone tekee itseksensä ilman että siinä tarvitsi kenenkään olla läsnä, joten se jää pois ajallisesta vertailusta koska ne voi jättää koneen tehtäväksi eikä siitä koidu henkilötunteja yhtään enempää. Ainoastaan kyseisen laskennan käynnistely ja loppumateriaalin käsittely katsotaan mukaan ajankäytön vertailuun. Agisoft ohjelman käyttämä aika laskentaan vaihteli 70 minuutista 400 minuuttiin, riippuen tietysti kuvien määrästä ja koneen käyttökapasiteetista.

Todettiin että lähes sama aika menee mittamiehen tulosten siirtämisessä koneelle ja tulosten käsittelyyn, kun dronen tulosten laittaminen laskentaan ja tulosten käsittely, joten toimisto aika sama molemmilla menettelyillä.

	Lento 1	Lento 2	Lento 3	Lento 1	Lento 2	Lento 3	Mittaus 1
	sign_50	sign_75	sign_100	50	75	100	Mittamies
Suunnitelman teko (min)	5	5	5	5	5	5	5
Kohteessa käytetty aika (min)	14	33	6	14	33	6	75
Signaalipisteiden merkkaukset (min)	20	20	20				
Aika yhteensä (min)	39	58	31	19	38	11	75
MML vs. pinta (m ³)	51382	51747	52075	51797	52345	53859	50347
Tulosten keskiarvo (m ³)	51936						

Kuva 7 : Mittaus ajat ja tulokset. Taulukossa on esitetty käytetty aika sekä laskettu massamäärä maanmittauslaitoksen materiaalin ja tehdyn pintamallin väliltä signaalipisteillä ja ilman sekä mittamiehen tekemä mittaus. Mähönen 2020.

8 YHTEENVETO

Eri lentojen ja mittamiehen tuloksia vertailemalla päädyimme laskemaan massamäärien keskiarvon, johon vertasimme tarkkuutta eri mittauksilla, koska on aivan mahdoton tietää kyseisen kasan absoluuttista tilavuutta. Näin saatiin vertailu kohta mihin tuloksia voidaan vertailla ja hakea mahdollisia poikkeavuuksia. Tähän keskiarvoon verrattuna signaaliton lento 100 metrin korkeudesta antoi suurimman heiton, joka oli 3,7% ja toiseksi suurin ero tuli mittamiehen mittaus tuloksessa joka oli 3,2%, kaikki muut tulokset jäivät noin 1% heittoon tai alle, joka riittää kyseisessä massalaskennassa tarkkuudeksi.

Ajallisesti taas nopein oli selkeästi lento 100 metrin korkeudesta ilman signaalipisteitä ja eniten aikaa vei mittamiehen mittaus. Dronen lentoaika oli pisimmillään 75 metrin korkeudelta lennetty 3d lento, jolloin lento tapahtuu saman alueen yli kahteen eri suuntaan ja kyseisen materiaalin laskenta koneella vie eniten aikaa koska materiaalia on tuplasti 2d lentoon nähden.

Näiden tulosten perusteella kyseisen kaltaisiin, kohtuu isoihin kohteisiin, varmasti ajallisesti järkevä ja riittävän tarkka tulos saadaan lentämällä kohde 2d lentona 75 tai 100 metrin korkeudesta, jossa on signaalipisteet käytössä. Samoja pisteitä, kun voidaan käyttää jatkossakin seurannassa, jos ne vaan on tehty kerralla järkeviin paikkoihin ja näin ollen uusien pisteiden tekoon ei enää tarvitse aikaa käyttää.

Pitää vielä muistaa, että joka lennolla voidaan seurata työaikaista etenemistä ja verrata pintamallia suunnitelmaan nähden. Näin voidaan tarvittaessa helposti korjata olemassa olevaa pintaa ja muokata mallia esimerkiksi koneohjausta varten.

9 LÄHTEET

Drone lennättämisen EU säännöt [Viitattu 2021-5-5] Saatavissa: <https://droneinfo.fi/fi/eun-drone-saannot>

DJI Phantom 4 RTK teknisiä tietoja [Viitattu 2021-1-12] Saatavissa: <https://www.fotonordic.fi/product/111073/dji-phantom-4-rtk>

Fotogrammetrisen mittauksen perusteet [Viitattu 2021-5-12] Saatavissa: <https://foto.aalto.fi/opetus/300/luennot/7/7.html>

Fotogrammetria vs. laserkeilaus [Viitattu 2021-5-13] Saatavissa: <http://pieneering.fi/fotogrammetrian-lukuisat-edut/fotogrammetrian-kaytto-vs-lasermittaus/>

Kuopion kaupunki [Viitattu 2021-1-12] Saatavissa: www.kuopio.fi/katu-ja-viherrakentaminen