

Maanpäällisten kaivosalueiden 3D-mallintaminen

Automaattisten menetelmien mahdollisuudet



Maanpäällisten kaivosalueiden 3D-mallintaminen

Jukka Leinonen • Teuvo Heimonen

Maanpäällisten kaivosalueiden 3D-mallintaminen

Automaattisten menetelmien mahdollisuudet

Sarja B. Tutkimusraportit ja kokoomateokset 12/2019

© Lapin ammattikorkeakoulu ja tekijät

ISBN 978-952-316-292-1 (nid.)

ISSN 2489-2629 (painettu)

ISBN 978-952-316-293-8 (pdf)

ISSN 2489-2637 (verkkojulkaisu)

Lapin ammattikorkeakoulun julkaisuja
Sarja B. Tutkimusraportit ja kokoomateokset
12/2019

Rahoittajat: Lapin liitto - Alueelliset innovaatiot ja
kokeilut -ohjelma

Kirjoittajat: Jukka Leinonen ja Teuvo Heimonen
Kansikuva: Jukka Leinonen
Taitto: Lapin AMK, viestintäyksikkö

Lapin ammattikorkeakoulu
Jokiväylä 11 C
96300 Rovaniemi

Puh. 020 798 6000
www.lapinamk.fi/julkaisut



Lapin korkeakoulukonserni LUC
on yliopiston ja ammattikorkea-
koulun strateginen yhteenliittymä.
Konserniin kuuluvat Lapin yliopisto
ja Lapin ammattikorkeakoulu.
www.luc.fi

Sisällys

1. JOHDANTO	7
2. MENETELMIÄ JA LAITTEITA AUTOMAATTISEEN MALLINTAMISEEN.	9
2.1 Kasan tilavuuden mittaaminen.	9
2.2 Signaalointi	12
2.3 Kasojen rajaaminen mallissa	13
2.4 RTK-mittaus	13
2.5 Uusia mittauslaitteita	14
2.5.1 DJI Phantom 4 RTK –drone	15
2.5.2 Kaksoistaajuinen GNSS-siru	15
2.6 Autonominen dronejärjestelmä	16
2.7 Louhoksen mallinnus dronen avulla	17
3. MITTAUS JA MALLINNUS	19
3.1 Mittausdatan käsittely	20
3.2 Kasojen tilavuuksien määrittäminen eri menetelmillä.	21
3.3 Mittaukset Kemin Energialla	22
3.3.1 Menetelmä 1 tulokset.	23
3.3.2 Menetelmä 2 tulokset.	24
3.3.3 Menetelmä 3 tulokset.	26
3.3.4 Menetelmä 4 tulokset.	27
3.4 Mittaukset SMA Mineralilla	29
3.4.1. Menetelmä 1 tulokset	30
3.4.2 Menetelmä 4 tulokset.	31
3.5 Mittausten automatisointi Agisoftissa	32
3.6 Pilvipalvelut	32
4. TULOSTEN ANALYSOINTI	35
5. YHTEENVETO	39
LÄHTEET	43

1. Johdanto

Lapin ammattikorkeakoulun Optisen mittaustekniikan laboratorio kartoitti aikaisemmassa hankkeessa Pohjois-Suomen kaivosten tarpeita louhinnasta primäärimurskaukseen ja siinä nousi esille mm. tarve kaivosten laajojen tuotantoalueiden 3D-mittaukselle ja -mallinnukselle kustannustehokkaasti. Mittauksen ja mallinnuksen pitäisi olla mahdollisimman automaattista ja tehokasta, jotta sen tuloksia voitaisiin hyödyntää jokapäiväisessä työskentelyssä. Yhtenä vaihtoehtona on käyttää tuotantoalueen mittaukseen UAV:tä (Unmanned Aerial Vehicle) manuaalisen mittaamisen sijaan. Tällä hetkellä UAV:tä käytetään vain muutaman kerran vuodessa, koska mittauksen ja mallinnuksen tekeminen on liian työlästä. Tästä johtuen 3D-malli ei ole kovin helposti ja tehokkaasti hyödynnettävissä jokapäiväisessä työskentelyssä. (Sipola&Leinonen&Pikkarainen, 2017, Sipola, 2017)

Edellä esitellyn tarpeen johdosta Optisen mittaustekniikan laboratorio toteutti Kaivosten tuotantoalueiden 3D mallintaminen uusilla menetelmillä -hankkeen. Hankkeen tavoitteena on mm. kokeilla kaivoksen maanpäällisten laajojen tuotantoalueiden 3D-mallintamista. Mittausdata voi olla tuotettu periaatteessa millä tahansa mittalaitteella, kuten esim. UAV:llä, laserskannauksella, takymetrilla tai GNSS-vas-taanottimella ja se tallennetaan esimerkiksi järjestelmäalustaan. 3D-malli muodostetaan automaattisesti tai puoliautomaattisesti mittausdatan perusteella. (Sipola, 2017) Hanke toteutettiin 2017-2018 välisenä aikana ja sitä rahoitettiin Lapin liiton Alueelliset innovaatiot ja kokeilut -ohjelman toimesta.

Kappaleessa 2 on kerrottu menetelmistä ja laitteista, jotka voivat auttaa kaivosalueen automaattiseen 3D-mallintamiseen. Kappaleessa 3 on esitelty dronemittauksia kahdesta kohteesta ja mallinnusten tuloksia. Mittaus- ja mallinnustulokset analysoidaan kappaleessa 4 ja lopuksi kappaleessa 5 on yhteenvedo.

2. Menetelmiä ja laitteita automaattiseen mallintamiseen

Tässä kappaleessa on esitelty selvitystyön aikana vastaan tulleita menetelmiä ja laitteita, joilla voidaan helpottaa kaivosalueen automaattista 3D-mallintamista. Aluksi kerrotaan perinteisestä kasojen tilavuuksien mittaustavasta, jossa kartoittaja liikkuu jalkaisin kasan päällä ja mittaa pistemäisesti GNSS-vastaanottimella koordinaatteja sekä toisesta vaihtoehdosta käyttää dronea kasojen tilavuuden mittaamiseen. Tämän jälkeen esitellään dronemittauksissa käytettävä menetelmä, jossa maastoon sijoitetaan signaaleja mm. dronen ottamien ilmakuvien orientoimisen tarkkuuden parantamiseksi. Seuravaksi on kerrottu testistä, jossa on testattu dronen ilmakuvista muodostetun 3D-mallin kasan rajaamisen vaikutuksesta tilavuuteen.

RTK-mittauksessa perinteiseen GNSS-vastaanottimeen tai droneen kiinnitetään RTK-moduuli, jolloin päästään senttimetrin tasoon paikoitustarkkuuteen. Seuraavaksi esitelläänkin ensimmäinen drone, johon on kiinnitetty RTK-moduuli. Toinen vaihtoehto parantaa paikoitustarkkuutta on käyttää uutta kaksoistaajuista GNSS-sirua. Lopuksi on esitelty autonominen dronejärjestelmä ja dronella tehty avolouhoksen 3D-mallinnus.

RTK tulee sanoista Real Time Kinematics. GNSS tulee puolestaan sanoista Global Navigation Satellite System. Täysin toimintakykyisiä GNSS-järjestelmiä ovat amerikkalainen GPS ja venäläinen GLONASS. Vuoden 2020 aikana pitäisi käytössä olla myös kiinalainen BeiDou-2 ja eurooppalainen Galileo.

2.1 KASAN TILAVUUDEN MITTAAMINEN

Kasan tilavuuden mittaaminen on yleisin tehtävä, johon droneja käytetään esimerkiksi kaivoksilla, louhoksilla ja rakennustyömailla. Dronet ovat täysin uudistaneet kasojen tilavuuksien mittaamisen työvaiheet. Dronet myös lyhentävät kartoitusaikaa merkittävästi, sillä se vaatii vain signalointipisteiden perustamisen, kartoitettavan alueen rajaamisen kartalta ja dronen käyttökuntoon laittamisen, jonka jälkeen drone lentää automaattisesti ja ottaa ilmakuvat alueesta. (Propeller Aerobotics Pty, 2018)

Perinteisessä menetelmässä kasan tilavuutta mitattaessa kartoittaja mittaa kasan pinnasta pistemäisesti 3D-koordinaatteja GNSS-vastaanottimella. Kuvassa 1 on GNSS-vastaanotin, joka on kiinnitetty sauvan päähän. Kartoittaja joutuu siis kipeä-

mään myös kasan päälle. Pistemittausten jälkeen hän menee toimistolle ja muodostaa pisteistä pintamallin, jota verrataan aikaisempaan kartoitukseen, perustasoon tai virtuaaliseen referenssitasoon tilavuuden laskemiseksi. Kartoittaja saa mitattua rajallisen määrän pisteitä kasan pinnasta, mutta dronella otetuista ilmakuvista muodostetussa pistepilvessä on tapauksesta riippuen tuhansista miljooniin pisteitä, jotka saadaan lisäksi lyhyemmässä ajassa. Toisaalta dronet ovat alttiimpia sääolosuhteille, kuten tuulelle, sumulle, sateille. Perinteinen manuaalinen mittaus onnistuu huonommissakin olosuhteissa. (Propeller Aerobotics Pty, 2017)



Kuva 1. Mitta Oy:n Raimo Höynälä mittaamassa signaalin koordinaatteja sauvan päähän kiinnitetyllä GNSS-vastaanottimella.

Lisäksi ideaaliset kasat olisivat säännöllisen muotoisia, kuutioita tai kartioita, joiden tilavuus olisi helppo laskea, mutta todellisuudessa kasat ovat epäsäännöllisiä. Dronen avulla muodostetusta pistepilvestä kasan epäsäännöllisyydet ovat kuitenkin havaittavissa ja tilavuus voidaan laskea tarkemmin. (Propeller Aerobotics Pty, 2018)

Dronejen käyttäminen kasojen tilavuuksien mittaamiseen tarkoittaa sitä, että mitaajien ei tarvitse kiivetä kasojen päälle mittauksia varten. Tämä parantaa työturvallisuutta, koska heidän ei tarvitse liikkua epävakaiden kasojen päällä eikä kaivoskoivosten parissa. Lisäksi dronet eivät tyypillisesti häiritse kaivoksen toimintaa eivätkä aiheuta viivästyksiä. (Karpowicz, 2017) Mm. Kespry tekee drone-järjestelmiä kasojen tilavuuksien mittaamiseen. Heidän mukaansa perinteisillä manuaalisilla kasojen ti-

lavuuksien mittauksilla päästään noin 75-85 % tarkkuuteen ja drone-järjestelmällä noin 97-99 % tarkkuuteen. Kespryn drone-järjestelmä voi olla jopa kuusi kertaa nopeampi kuin perinteinen kartoitusmenetelmä. Lisäksi nopeus ja helppokäyttöisyys kannustavat käyttämään järjestelmää useammin. (Kespry Inc)

Datamate on vertaillut hiekkakasan tilavuuden määrittämistä kolmella eri tavalla: perinteisellä manuaalisella menetelmällä, dronen avulla signaalien kanssa ja ilman niitä. Kuvassa 2 on teksturoitu tiheä pistepilvi mitatusta alueesta, jonka pinta-ala oli 13200 m². Signaaleja oli yhteensä neljä ja niiden paikat mitattiin RTK GPS:llä. Perinteisellä menetelmällä mitattiin 173 pistettä, kun taas dronen tuottamassa pistepilvessä oli 8566 pistettä. (Datamate, 2017)



Kuva 2. Teksturoitu tiheä pistepilvi hiekkakasasta. (Datamate, 2017)

Perinteisellä menetelmällä pisteiden mittaamiseen kului aikaa 1,5 tuntia ja dronella puoli tuntia eikä kasan päälle tarvinnut kiivetä. Ilmakuvien käsittelyyn toimistolla kului aikaa tunti. Ilman signaaleja kasan tilavuus oli 2,5 % pienempi kuin signaaleja käytettäessä ja poikkesi 4,5 % perinteisestä manuaalisesta menetelmästä. Lisäksi pistepilvestä mitattiin noin 3,6 metrin kohdetta ja sen mitta poikkesi 2 cm ilman signaaleja ja 0,66 cm signaalien kanssa. (Datamate, 2017) Mittaustuloksia voidaan vertailla vain keskenään, koska kasan todellista tilavuutta ei tiedetä.

RumbleTools on mitannut lumikasaa sekä perinteisellä menetelmällä että dronella, jossa oli sekä kamera että laserkeilain. Lumikasan tilavuuden mittaustulokset poikkesivat toisistaan vain 1,5 %. Dronella mittaustietojen kerääminen kesti reilut neljä minuuttia ja perinteisellä menetelmällä useita tunteja. (Imatran kaupunki, 2018)

2.2 SIGNALOINTI

Signaloinnilla osoitetaan maastosta kohteita, joiden halutaan selkeästi erottuvan kuvilta. Kohteita voivat olla esimerkiksi rajapyykit ja kaupunkialueiden kuvauksissa kaivojen kannet. UAV-kartoituksissa signaaleja käytetään useimmiten osoittamaan signalointipisteiden sijainnit maastossa. Signaalien paikat mitataan ja tämän avulla ilmakuvat saadaan orientoitua haluttuun koordinaatistoon. Signaalien paikan mittaustarkkuus ja niiden määrä määrittävät pitkälti ilmakuvien avulla tuotetun 3D-mallin tarkkuuden. (Jokinen, 2014, Laine, 2016)

Signaalit täytyy pystyä erottamaan ilmakuvilta helposti, joten niiden on oltava riittävän suuria ja lisäksi kontrastin on oltava riittävä. Signaalin muoto voi vaihdella, mutta yleisimmin käytetään valkoisia puusta tai muovista rakennettuja ristejä. Myös ympyrän ja neliön muotoisia sekä T-mallisia signaaleja käytetään. (Jokinen, 2014)

Kaivosalueella olisi mahdollista rakentaa kiinteitä signaaleja, jolloin UAV-kartoituksen alussa ei tarvitsisi viedä signaaleja alueelle ja mitata niiden paikkaa. Tällöin voitaisiin tehdä alueen seuranta nopeasti ja tasaisin väliajoin. Kiinteitä signaaleja käytettäessä tulee varmistaa niiden liikkumattomuus sekä erottuvuus myös talviaikaan. Lisäksi tulee huomioida, että signaaleja on alueella tasaisesti, joten tuotannollisilla alueilla joutuisi kuitenkin todennäköisesti käyttämään liikuteltavia signaaleja. (Jokinen, 2014) Kiinteillä signaaleilla voisi kuitenkin vähentää liikuteltavien signaalien määrää.

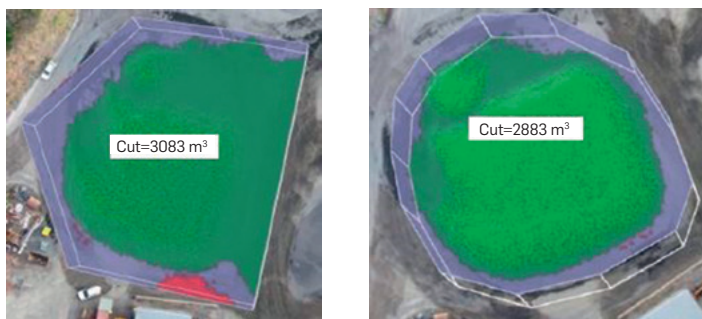
Markkinoilla on myös itsepaikoituvia signaaleja, joita voitaisiin käyttää liikuteltavina signaaleina. Tällainen on esimerkiksi Propeller AeroPoints –älysignaali (kuva 3). Laitteeseen on integroitu GNSS-vastaanotin ja muisti mittaustiedoille. Laite viedään mitta-alueelle ja käynnistetään yhdestä napista, jonka jälkeen se on käyttövalmis. Laitteen käyttö ohjaa automaattisesti ylimääritykseen, jonka johdosta tarkkuus ja luotettavuus paranevat. Kymmenen Propeller AeroPointsin paketti maksaa 6000 € ja se sisältää myös vuoden mittausdatan prosessointipalvelun pilvessä. (Mäenpää)



Kuva 3. Propeller AeroPoints itsepaikoittuva älysignaali. (Mäenpää)

2.3 KASOJEN RAJAAMINEN MALLISSA

Propeller on testannut kasojen rajaamista mallissa ja tarkimman tilavuuden saa rajaamalla kasa tiukasti. Tärkeintä on kuitenkin päättää, että käyttääkö tiukkaa vai löysää kasojen rajausta ja käyttää sitä tapaa johdonmukaisesti (Propeller Aerobotics Pty). Kuvassa 4 on esitetty tiukka ja löysä rajaus.



Kuva 4. Vasemman puoleisessa kuvassa on tiukasti rajattu kasa ja oikean puoleisessa kuvassa löysästi rajattu kasa. (Propeller Aerobotics Pty)

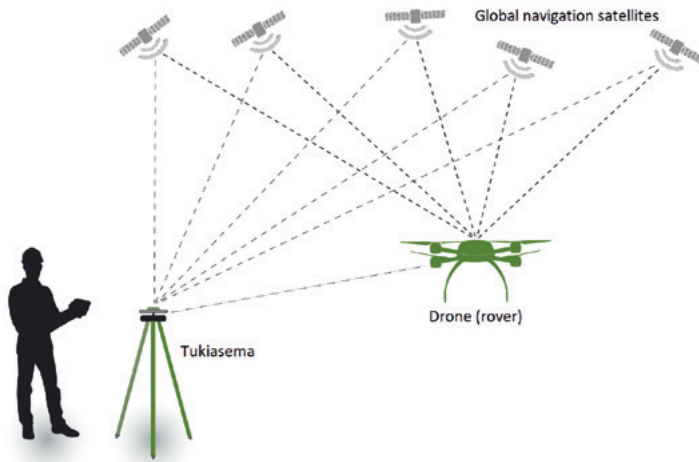
Propeller on testannut kasan rajauksen vaikutusta tilavuuteen mittaamalla saman kasan dronen avulla 20 kertaa. Kasa rajattiin 12 kertaa tiukasti, jolloin tilavuuden keskiarvo oli 2865 m^3 ja keskihajonta $1,1 \%$. Sama kasa rajattiin kahdeksan kertaa löysästi, jolloin tilavuuden keskiarvo oli 3005 m^3 ja keskihajonta $2,0 \%$. Kaikkien kahdenkymmenen mittauksen keskihajonta oli $2,8 \%$. Tämä tulos osoittaa, että kannattaa käyttää joko tiukkaa tai löysää rajausta. Tiukka rajaus on paras vaihtoehto, mutta liian tiukasti ei kannata rajata, jotta rajaus ei tule kasan päälle. (Propeller Aerobotics Pty)

2.4 RTK-MITTAUS

RTK-mittauksessa käytetään kahta GNSS-vastaanotinta, joista toinen sijoitetaan tunnetulle pisteelle eli ko. pisteen 3D-koordinaatit tiedetään. Tätä vastaanotinta kutsutaan tukiasemaksi. Tukiasema laskee oman sijaintinsa satelliittien lähettämien signaalien perusteella, vertaa sitä tunnettuun sijaintiin ja laskee eroavaisuudesta koordinaattien korjausarvot ko. ajan hetkellä. Eroavuus vaihtelee joka hetki, joten tukiaseman täytyy laskea sitä koko mittauksen ajan. (Laine, 2016)

Toinen GNSS-vastaanotin on liikkuva ja se on normaaliin tapaan manuaalisesti liikuteltavassa mittalaitteessa tai UAV:ssä. Tätä vastaanotinta kutsutaan roveriksi. Rover havaitsee samoja satelliitteja kuin tukiasema ja laskee niistä oman sijaintinsa. Tukiasema lähettää koordinaattien korjausarvot ko. mittausajanhetkellä, jonka pe-

rusteella rover voi laskea oman sijaintinsa senttimetr tarkkuudella. Tukiaseman ja roverin välinen etäisyys tulisi olla maksimissaan 20 km. Kuvassa 5 on esitetty periaatekuva RTK-mittaamisesta. (Laine, 2016)



Kuva 5. Periaatekuva RTK-mittaamisesta. (VideoDrone Finland Oy, 2018 (muokannut Leinonen, J. 12.11.2018))

Yleensä tukiaseman ja roverin välinen koordinaattien korjausarvojen tiedonsiirto tapahtuu UHF- tai VHF-radiotaajuuksilla tai matkapuhelinverkon kautta. Jos tiedonsiirto ei onnistu, niin koordinaattien korjaus voidaan tehdä myös jälkikäteen käyttämällä Post Processed Kinematics –menetelmää (PPK). RTK-mittauksessa tarvittavien tunnettujen pisteiden verkko ei ole Suomessa kovin laaja, joten mittausmenetelmän toimivuus on hieman puutteellista. Menetelmässä on kuitenkin mahdollista käyttää myös matkapuhelinverkon kautta virtuaalista tukiasemaa. (DJI, 2018c, Laine, 2016)

Ilman RTK-mittausta tarvitaan jopa 40 signalointipistettä neliökilometrille ja niiden pystyttäminen vie useamman tunnin. RTK:ta käyttämällä on mahdollista kartoittaa jopa ilman signalointipisteitä. (DJI, 2018a) Yleisesti on kuitenkin hyväksytty, että laadunhallinnan vuoksi käytetään 3-5 signalointipistettä neliökilometrille teollisuuden kartoituksissa (DJI, 2018b). RTK:n käyttäminen lyhentää myös ilmakuvien prosessointiaikaa, koska kuvanottoaikat ovat tarkemmin tiedossa. Käsittelyyn kuuluva aikaa voi lyhentyä jopa 40 prosentilla suurilla datamäärillä. (Pix4D, 2018)

2.5 UUSIA MITTAUSLAITTEITA

Seuraavissa kappaleissa on esitelty kaksi paikoitustarkkuutta parantavaa laitetta. Toinen on ensimmäinen drone, johon on liitetty RTK-moduuli ja toinen kaksoistaajuisen GNSS-siru.

2.5.1 DJI Phantom 4 RTK –drone

DJI on julkaissut 15.10.2018 Phantom 4 RTK –dronen (kuva 6), johon on integroitu RTK-moduuli tukiaseman lähettämien koordinaattien korjausarvojen vastaanottamista varten. Korjausarvojen käyttäminen mahdollistaa ilmakuvien senttimetriluokan paikoitustarkkuuden (DJI, 2018b). Phantom 4 RTK voi käyttää joko fyysistä tai virtuaalista tukiasemaa, johon ollaan yhteydessä radio-ohjaimen 4G-modeemin avulla (Pix4D, 2018). Jos kartoitusalueella ei ole virtuaalista RTK-tukiasemaa, niin jälkikäteen voidaan käyttää Post Processed Kinematics (PPK) (DJI, 2018c).



Kuva 6. DJI Phantom 4 RTK -drone, jonka päällä on RTK-moduuli. (DJI, 2018c)

DJI lupaa paikoitustarkkuudeksi 1 cm + 1 ppm vaakasuunnassa, 1,5 cm + 1 ppm pystysuunnassa ja aurinkoisella kelillä 100 m korkeudesta otetuista ilmakuvista tehdyssä mallissa 5 cm absoluuttisen vaakasuuntaisen tarkkuuden (DJI, 2018c). Laitteelle tehdyssä alustavassa tarkkuustestissä ilman signaloitipisteitä mittaustarkkuus oli 1-3 cm vaakasuunnassa ja 5 cm pystysuunnassa (DroneDeploy, 2018).

Jotta RTK-paikoitusmoduulista saadaan täysi hyöty, droneen on tehty TimeSync-järjestelmä, joka jatkuvasti synkronoi radio-ohjaimen, kameran ja RTK-moduulin tiedot. Samalla TimeSync-järjestelmä varmistaa, että jokaiseen ilmakuvaan tallentuu mahdollisimman tarkkaa metadataa, sisältäen mm. kamerajärjestelmän tehdaskalibrintitiedot ja paikkatiedon keskelle kameran kennoa. (DJI, 2018a)

Dronen kamerassa on yhden tuuman CMOS-kenno ja siinä on 20 miljoonaa pikseliä. Lisäksi kameran optiikassa on mekaaninen suljin, joka estää pienissä liikkeissä kuvan liike-epäterävyydet. Dronen kanssa voidaan käyttää D-RTK 2 -mobiilitukiasemaa, jos halutaan saavuttaa vielä parempi paikoitustarkkuus tai mobiiliverkkoa ei ole saatavilla. Phantom 4 RTK maksaa 5700 € ja tukiaseman kanssa 7800 €. (DJI, 2018a)

2.5.2 Kaksoistaajuinen GNSS-siru

Broadcom julkaisi syksyllä 2017 uuden kaksoistaajuus GNSS-sirun, jolla paikoitustarkkuus paranee nykyisestä viidestä metristä 30 senttimetriin. Se on ensimmäinen massamarkkinoille tehty siru, joka käyttää sekä L₁ että L₅ GNSS-signaaleja paikointukseen. Siru kuluttaa myös puolet vähemmän energiaa kuin vain L₁-taajuuden sig-

naalia käyttävä siru. (GPS World, 2017) Sirun käyttämä L5-taajuus vähentää esimerkiksi kaupunkialueella rakennuksista heijastuneiden signaalien vaikutusta paikointutarkkuuteen, kun heijastunut signaali pystytään helpommin erottamaan todellisesta signaalista. Kaksoistaajuuden käyttäminen vähentää myös esimerkiksi ionosfäärin aiheuttamaa paikointusvirhettä ja paikoinnuksen jumiutumista. (Broadcom, European GNSS, 2018)

Xiaomi julkaisi 31.5.2018 maailman ensimmäisen kaksoistaajuutta käyttävän älypuhelimien ja se käyttää Broadcomin sirua. Kaksoistaajuuden käyttäminen mahdollistaa myös uusia käyttömahdollisuuksia, kuten lisätty todellisuus, ajoneuvojen suunnistus ja kartointu. (European GNSS, 2018) Koska julkaistaan ensimmäinen drone, joka käyttää kaksoistaajuutta paikointukseen?

2.6 AUTONOMINEN DRONEJÄRJESTELMÄ

RumbleTools on kehittänyt autonomisen dronejärjestelmän (Automated Industrial Drone Platform) erityisesti tehtaiden tarpeisiin. Kuvassa 7 on järjestelmään kuuluva telakointiasema, jossa vaihdetaan ja ladataan dronen akku automaattisesti (kuva 8). Tämä mahdollistaa dronen lennättämisen 24/7. Telakointiasemassa on myös tietokone, joka kerää talteen lennon aikaisen mittausdatan. (RumbleTools)



Kuva 7. Telakointiasemalla dronen akku vaihdetaan ja ladataan itsenäisesti. (Maaseudun tulevaisuus, 2018. Kuvaaja Marja Seppälä)

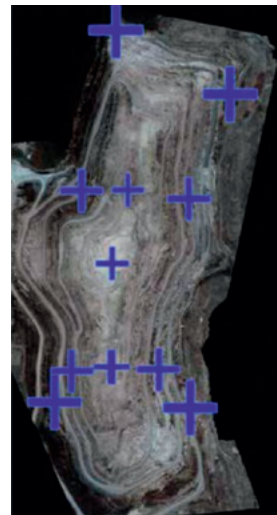


Kuva 8. Telakointiaseman "revolveriin" eli akkukasettiin mahtuu kuusi akkua. (Maaseudun tulevaisuus, 2018. Kuvaaja Marja Seppälä)

Järjestelmää on kehitetty Storan Enson tarpeesta mitata puupinojen ja hakekasojen tilavuudet. He huomasivat, että saman mittajaan saman puupinon tilavuuden mittaustulokset vaihtelivat jopa 10-20 prosentin luokkaa peräkkäisissä mittauksissa. Dronelle lentoreitti määritetään etukäteen, joten mittaus voidaan toistaa aina samalla tavalla uudelleen. Dronella mittaus kestää kymmeniä minuutteja, kun ihmisellä siihen menee työpäivän verran. Jatkossa dronella voidaan esimerkiksi mitata ilman pituisuuksia, tarjota tilanne- ja valvontakuvaa pelastushenkilökunnalle ja ohjata ihmisiä kaiuttimen avulla hätätilanteessa. (Maaseudun tulevaisuus, 2018)

2.7 LOUHOKSEN MALLINNUKSEN DRONEN AVULLA

Vuonna 2017 Hytola Engineering Oy kuvasi dronella Nordkalk Oy:n avolouhoksen ja sen lähes pystysuorat seinämät. Päältä pain katsottuna kaivoksen pinta-ala oli noin 50 hehtaaria. Siitä otettiin yli 10000 ilmakuvaa, käytettiin 11 signaalia ja valmiissa 3D-mallissa oli yli 1000 miljoonaa pistettä (kuva 9). 3D-malli mahdollistaa mm. maksimaalisen materiaalmäärän louhinnan tuotantotehokkaasti. (Kivirock, 2018)



Kuva 9. 3D-malli louhoksesta. Kuvassa näkyy sinisellä signaalien paikat. (Kivirock, 2018)

3. Mittaus ja mallinnus

Tuotantoalueiden automaattiseen tai puoliautomaattiseen mittaamiseen ja mallintamiseen on kiinnostusta esimerkiksi kaivosyhtiöillä. 3D-mallia voidaan mm. käyttää alueen dokumentointiin, avokaivoksen louhinnan etenemisen seurantaan ja kasojen tilavuuksien laskentaan.

Tässä hankkeessa testattiin tuotantoalueen 3D-mittausta ja -mallinnusta ensin Kemin Energian lämpökeskuksen biopolttoainekasoiille. Tämä valikoitui ensimmäiseksi mittauskohteeksi, koska se on suhteellisen pieni ja rajattu alue, josta saatiin helposti mittausdataa mallinnusmenetelmien kehittämiseen ja testaamiseen. Lisäksi biopolttoainekasat kuvastivat riittävällä vastaavuudella kaivosalueen kivikasoja. Hankkeen lopussa tarjoutui vielä mahdollisuus SMA Mineralin Ristimaan avolouhoksen mittaamiseen ja mallintamiseen.

Näissä kahdessa testissä mittausdata hankittiin kamerallisella dronella. Mittausdatan hankintaan käytettiin dronea, koska mittausta haluttiin automatisoida. Lisäksi mitattavat alueet olivat sen verran pieniä, että mittaamiseen ei tarvinnut käyttää kiinteäsiipistä lennokkia.

Automaattinen tai puoliautomaattinen mittausdatan mallinnus ja analysointi jaettiin kolmeen lähestymistapaan. Ensimmäisessä lähestymistavassa käytettiin kaupallista ohjelmistoa ja automatisoitiin sitä mahdollisimman paljon. Esimerkiksi Agisoft on ohjelma, jossa ilmakuvat voidaan käsitellä fotogrammetrisin keinoin ja suorittaa automaattisesti komentoja ja omia Python-koodeja.

Toisessa lähestymistavassa käytettiin avoimen lähdekoodin työkaluja kasojen automaattiseen mallinnukseen ja tilavuuksien laskentaan. Laskentamenetelmän syöteenä oli Agisoft tekemä tiheä pistepilvi. Kolmas lähestymistapa on käyttää mallinnukseen ulkopuolista tahoja. Esimerkiksi Propeller tarjoaa palvelua, jossa ilmakuvat ladataan pilvipalveluun. Automaattisen mallinnuksen jälkeen käyttäjä voi laskea pilvipalvelussa olevasta mallista esimerkiksi kasojen tilavuuksia (Mäenpää).

3.1 MITTAUSDATAN KÄSITTELY

Kuvissa 10 ja 11 on esimerkki-ilmakuvat Kemin Energian ja SMA Mineralin kohteista. Kummastakin kohteesta tehtiin Agisoftiin oma projekti ja siihen tuotiin dronen ottamat ilmakuvat. Ilmakuvien mukana projektiin siirtyi myös dronen tallentamat kuvanottoaikkojen koordinaatit WGS 84 -koordinaattijärjestelmässä. Tämän jälkeen kuvat yhdistettiin Align Photos -komennolla. Tässä toiminnossa päällekkäin olevista kuvista haetaan yhtäläisyyksiä, arvioidaan kuvanottoaikat jokaiselle kuvalle ja tehdään harva pistepilvi kohteesta. Tarkkuusasetuksena käytettiin high-asetusta, joka parantaa kuvanottoaikan tarkkuutta. Normaali toimistoläppärillä kuvien yhdistämiseen meni puoli tuntia. (Agisoft)



Kuva 10. Esimerkki-ilmakuva Kemin Energian biopolttoainekasoista.



Kuva 11. Esimerkki-ilmakuva SMA Mineralin Ristimaan avolouhoksesta.

Seuraavassa vaiheessa ilmakuvista paikoitettiin manuaalisesti signaalien keskipisteet. Kun kaikki signaalit oli merkitty ilmakuviin, niin signaaleille tuotiin maastossa mitatut koordinaatit. Kemin Energian tapauksessa signalointipisteet olivat ETRS89 / GK25FIN –koordinaattijärjestelmässä ja SMA Mineralin tapauksessa ETRS89 / TM-35FIN –koordinaattijärjestelmässä. Lopuksi optimoitiin kamerat Optimize Camera Alignment –komennolla käyttämällä pelkästään signalointipisteitä. Optimoinnissa lasketaan kamerajärjestelmän sisäiset ja ulkoiset parametrit, kuvanottopaikkojen tarkempi sijainti ja orientoidaan ilmakuvat haluttuun koordinaatistojärjestelmään. (Agisoft)

Ilmakuvien orientoinnin jälkeen suoritettiin tiheän pistepilven laskenta. Tiheä pistepilvi tehtiin Build Dense Point Cloud –komennolla ja pistepilven tiheyden laaduksi valittiin high ja suodatukseksi aggressive-asetus. Tämä oli ylivoimaisesti raskain työvaihe ja vei normaali toimistoläppärillä Kemin Energian tapauksessa lähes 15 tuntia ja SMA Mineralin tapauksessa noin 6 tuntia. Tiheä pistepilvi talletettiin laz-tiedostoon. Ennen pinnankorkeusmallin tekemistä tiheästä pistepilvestä poistettiin häiriöpisteitä. Pinnankorkeusmalli tehtiin Build DEM –komennolla tiheästä pistepilvestä. Lopuksi kasojen tilavuudet laskettiin merkitsemällä pinnankorkeusmalliin monikulmiot kasojen ympärille. (Agisoft)

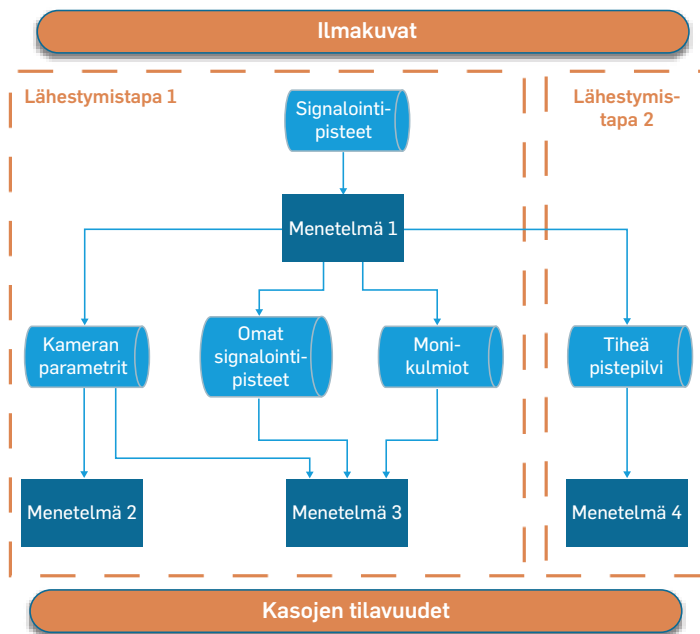
Hankkeessa tutkittiin myös toista lähestymistapaa kasojen täysin automaattista mallinnusta ja kasojen tilavuuden määrittämistä käyttäen avoimen lähdekoodin työkaluja. Tutkimus rajattiin siten, että laskentamenetelmien syötteenä käytettiin valmista pistepilveä eli pistepilven luonti ilmakuvista rajattiin tämän tutkimuksen ulkopuolelle. Syötteenä käytettiin Agisoftilla luotua tiheää pistepilveä.

Tiheän pistepilven raakakäsittelyyn käytettiin CloudCompare-ohjelmiston työkaluja. Tulosten (tilavuudet, tilavuuksien muutokset, 3D-mallit) esittämiseen ja visualisointiin sekä käyttäjäinteraktioon hyödynnettiin FreeCAD-ohjelmiston työkaluja. Varsinainen muu laskenta toteutettiin Python-ohjelmointikielellä. Tätä itse tehtyä laskentamenetelmää kokeiltiin myös aikaisemmissa hankkeissa kehitetyssä järjestelmäalustassa.

3.2 KASOJEN TILAVUUKSIEN MÄÄRITTÄMINEN ERI MENETELMILLÄ

Seuraavissa kappaleissa on kerrottu erilaisia menetelmiä, joilla dronen ottamista ilmakuvista saadaan laskettua kasojen tilavuudet kuutiometreinä (kuva 12). Menetelmät 1-3 ovat ensimmäistä lähestymistapaa ja niissä on käytetty kaupallista ohjelmistoa, Agisoftia, kasojen tilavuuksien laskemiseen. Menetelmässä 1 kasojen tilavuudet on laskettu signalointipisteiden avulla. Menetelmässä 2 ei ole käytetty signalointipisteitä ollenkaan, mutta kameras parametrit on otettu menetelmästä 1. Menetelmässä 3 on tehty omia kiinteitä signaaleja menetelmän 1 avulla, käytetty menetelmän 1 kameras parametreja ja monikulmioita (kasojen manuaalisia rajauksia).

Menetelmässä 4 on kokeiltu toista lähestymistapaa eli mallintaminen ja kasojen tilavuuksien laskenta on toteutettu itse avoimen lähdekoodin ohjelmistoilla. Syötteenä laskentaan on ollut Agisoftin tuottama tiheä pistepilvi menetelmästä 1.



Kuva 12. Lohkokaavio neljästä eri menetelmästä kasojen tilavuuksien laskemiseksi.

3.3 MITTAUKSET KEMIN ENERGIALLA

Mitta Oy kartoitti dronella Kemin Energian Karjalahden lämpökeskuksen alueen 4.4.2018, jolloin sää oli aurinkoinen ja pakkasta oli muutama aste. Lähes tasaisella asvaltতিকentällä oli kolme biopolttoainekasaa ja kolme muuta polttoainekasaa.

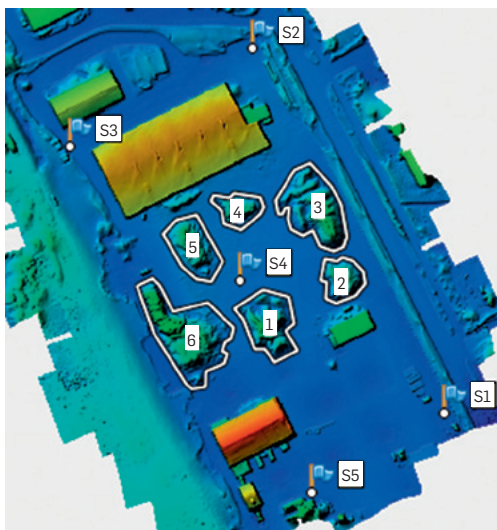
Ennen kuvaamista alueelle laitettiin viisi signaalia (kuva 13). Signaalit olivat valkoisia ristejä, joiden ympäriltä lumi maalattiin spraymaalilla punaisiksi. Tämän jälkeen signaalien keskipisteiden koordinaatit mitattiin GNSS-vastaanottimella paikoitus-tarkkuuden ollessa 1-2 cm. Signaalien asemointiin ja mittaamiseen meni aikaa noin puoli tuntia. Kemin Energian alue kartoitettiin normaalista poiketen kahteen suuntaan, lounas-koillinen ja kaakko-luode suuntiin, alueen pienuuden vuoksi. Alueen pinta-ala oli hieman alle 6 hehtaaria, kuvauskorkeus oli 50 m ja kuvauslento kesti kaikkinsa noin 10 minuuttia. Ilmakuvat olivat limittäin noin 60-80 % ja niitä otettiin yhteensä 185 kappaletta.



Kuva 13. Kemin Energian kohteessa käytetty signaali, jonka keskipiste mitattiin GNSS-vastaanottimella.

3.3.1 Menetelmä 1 tulokset

Tässä menetelmässä kasojen tilavuudet laskettiin Mitta Oy:n ottamien ilmakuvien ja määrittämien signalointipisteiden avulla (kuva 12). Agisoft-projektiin tuotiin kaikki 185 ilmakuvaa, yhdistettiin ne ja saatiin harva pistepilvi. Seuraavaksi ilmakuvista paikoitettiin manuaalisesti viisi signaalia. Kameran kalibrointiparametrien optimoinnin ja harvan pistepilven oikaisun jälkeen tehtiin tiheä pistepilvi. Tiheässä pistepilvessä oli noin 110 000 000 pistettä. Lopuksi tehtiin pinnankorkeusmalli tiheän pistepilven avulla, johon rajattiin kasojen paikat monikulmioiden avulla ja laskettiin niiden tilavuudet (kuva 14).



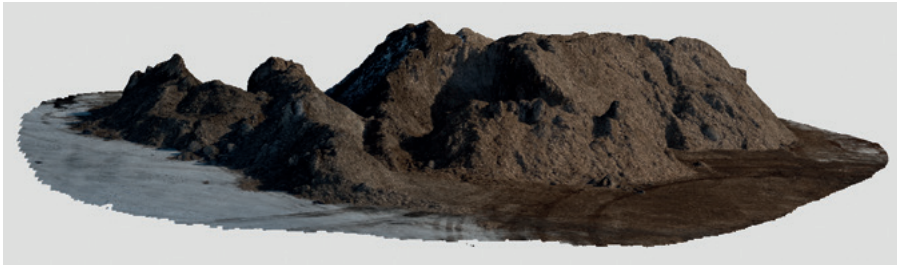
Kuva 14. Pinnankorkeusmalli lämpökeskuksen alueesta, jossa näkyvät manuaalisesti paikoitettut viisi signaalia, monikulmioilla rajatut kasot ja niiden indeksit.

Kasojen tilavuudet on laskettu kahdella eri tavalla ja tulokset on esitetty taulukossa 1. Mean levelissä nollataso määräytyy monikulmion nurkkapisteiden z-koordinaattien keskiarvosta eli nollataso on XY-tasossa. Best fit planessa monikulmion nurkkapisteisiin sovitetaan taso, joka ei välttämättä ole XY-tasossa. Molemmilla tavoilla lopullinen tilavuus on sovitetun tason ylä- ja alapuolella olevien tilavuuksien erotus.

Taulukko 1. Kasojen tilavuudet menetelmällä 1 kahdella eri Agisoftin tavalla.

	Best fit plane [m ³]	Mean level [m ³]
Kasa 1	1131	1142
Kasa 2	725	723
Kasa 3	1845	1831
Kasa 4	485	481
Kasa 5	904	899
Kasa 6	3335	3247

Kuvassa 15 on tiheä pistepilvi kasasta 6, johon on luotu realistinen pinta liittämällä pisteisiin ilmakuvista saadut väriarvot.



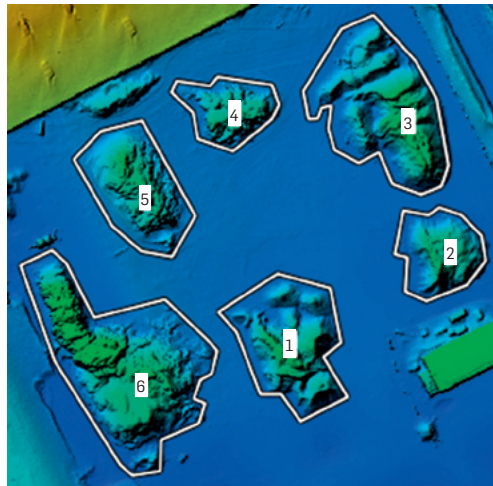
Kuva 15. Tiheä pistepilvi kasasta 6.

3.3.2 Menetelmä 2 tulokset

Tässä menetelmässä ei ole käytetty signalointipisteitä ollenkaan, mutta kameras parametrin on otettu menetelmästä 1 (kuva 12). Jos kasojen tilavuuksien laskeminen onnistuisi ilman signaaleja, niin ennen jokaista drone-kartoitusta niitä ei tarvitsisi viedä tuotantoalueelle eikä määrittää niiden tarkkaa paikkaa GNSS-vastaanottimella. Tällöin riittäisi, että signalointi tehtäisiin vain ensimmäisellä mittauskerralla ja siitä saataisiin kameras parametrin, joita käytettäisiin muilla mittauskerroilla.

Agisoft-projektiin tuotiin kaikki 185 ilmakuvaa, yhdistettiin ne ja saatiin harva pistepilvi. Harva pistepilvi oikaistiin siis menetelmän 1 kameran parametreilla ja tämän jälkeen tehtiin tiheä pistepilvi. Lopuksi tehtiin pinnankorkeusmalli tiheän pistepilven avulla.

Monikulmiot tuotiin menetelmästä 1, mutta ne eivät ihan osuneet kohdilleen (kuva 16), koska ilman signaalintipisteitä malli ei skaalaudu lopullisesti oikeaan kokoon. Monikulmioiden virheellisen paikoituksen vuoksi pinnankorkeusmalliin rajattiin uudelleen kasojen paikat monikulmioilla ja laskettiin niiden tilavuudet. Myös korkeustaso jäi vääräksi ilman signaaleja, mutta sillä ei ole merkitystä kasojen tilavuuksia laskettaessa. Signaaleja käytettäessä kasojen alla olevan kentän taso oli noin 2,7 m ja ilman signaaleja se oli noin -11,9 m. Taulukossa 2 on esitetty menetelmällä 2 saadut kasojen tilavuudet kahdella eri Agisoftin tavalla.



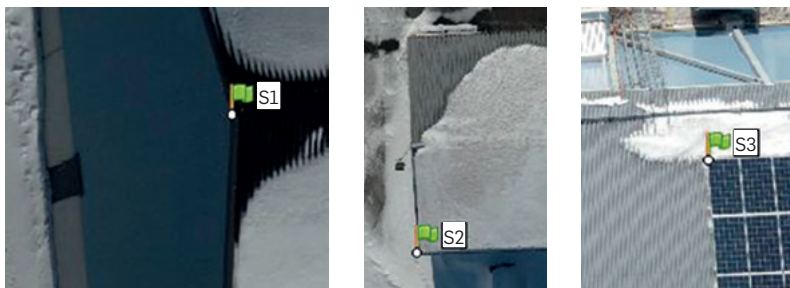
Kuva 16. Menetelmän 1 monikulmiot eivät paikoitettu oikeisiin kohtiin menetelmässä 2, koska siinä ei ole käytetty signaaleja.

Taulukko 2. Kasojen tilavuudet menetelmällä 2 kahdella eri Agisoftin tavalla.

	Best fit plane [m ³]	Mean level [m ³]
Kasa 1	1153	1166
Kasa 2	742	740
Kasa 3	1884	1869
Kasa 4	498	495
Kasa 5	920	913
Kasa 6	3403	3335

3.3.3 Menetelmä 3 tulokset

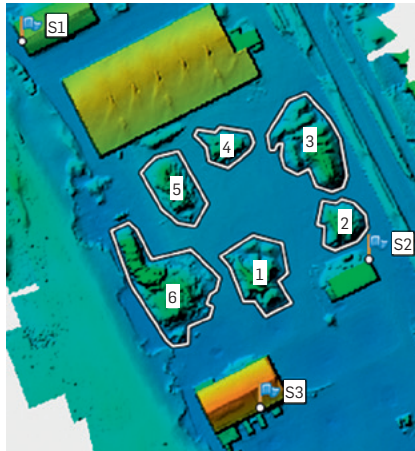
Menetelmässä 3 kokeiltiin tapaa, jossa tehdään omia kiinteitä signaaleja ja käytetään menetelmän 1 signalointipisteiden avulla määritettyjä kameran parametreja harvan pistepilven oikaisuun (kuva 12). Kuvassa 17 näkyy kolme tässä projektissa käytettyä kiinteää signaalia. Signaalit voivat olla esimerkiksi katon nurkkapiste, tolpan nokka tms. selkeästi ilmasta kuvattaessa erottuva piirre. Kohteen tulee olla semmoinen, että se on näkyvillä myös talvella lumisateiden jälkeen, ja tämä voi olla haasteellista.



Kuva 17. Kolme omaa kiinteää signaalia dronen ottamissa ilmakuvissa.

Kiinteitä signaaleja käytettäessä hyvä puoli on se, että ennen jokaista drone-kartoitusta signaaleja ei tarvitse viedä tuotantoalueelle eikä mitata niiden paikkaa GNSS-vastaanottimella. Kiinteiden signaalien koordinaatit voidaan määrittää kerran tai käyttää kerran liikuteltavia signaaleja, tehdä niiden avulla 3D-malli ja määrittää siitä kiinteiden signaalien koordinaatit. Tässä projektissa käytettiin jälkimmäistä tapaa. Myös itsepaikoittuvien signaalien käyttö olisi mahdollista ja helpottaisi mittausta ja mallinnusta.

Agisoft-projektiin tuotiin kaikki 185 ilmakuvaa, jotka yhdistettiin ja saatiin harva pistepilvi. Tämän jälkeen kuvista paikoitettiin kolme omaa kiinteää signaalia manuaalisesti. Harva pistepilvi oikaistiin siis menetelmän 1 kameran parametreilla ja tämän jälkeen tehtiin tiheä pistepilvi. Lopuksi tehtiin pinnankorkeusmalli tiheän pistepilven avulla. Monikulmiot tuotiin pinnankorkeusmalliin menetelmästä 1 ja ne osuivat silmämääräisesti oikeisiin paikkoihin (kuva 18). Taulukossa 3 on esitetty lasketut kasojen tilavuudet kahdella eri Agisoftin tavalla.



Kuva 18. Menetelmällä 3 tehty pinnankorkeusmalli, jossa näkyy kolme omaa kiinteää signaalia ja monikulmiot.

Taulukko 3. Kasojen tilavuudet menetelmällä 3 kahdella eri Agisoftin tavalla.

	Best fit plane [m ³]	Mean level [m ³]
Kasa 1	1126	1140
Kasa 2	722	720
Kasa 3	1841	1832
Kasa 4	484	480
Kasa 5	905	900
Kasa 6	3325	3233

3.3.4 Menetelmä 4 tulokset

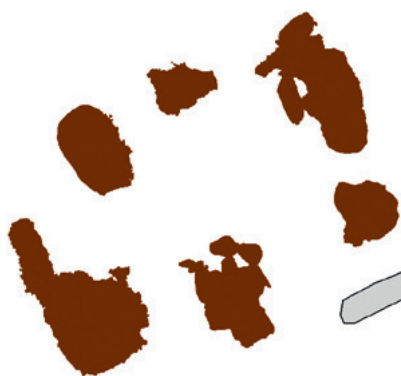
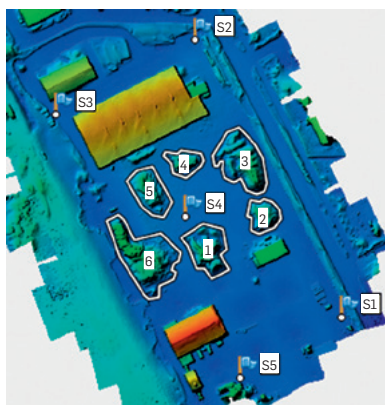
Menetelmässä 4 tutkittiin kasojen täysin automaattista mallinnusta ja tilavuuden määrittystä käyttäen avoimen lähdekoodin työkaluja ja järjestelmälustaa. Laskentamenetelmien syötteenä oli menetelmällä 1 Agisoftilla luotu tiheä pistepilvi (kuva 12). Syötepistepilvestä rajattiin kasat ensin karkeasti käyttäen hyväksi koko tutkittavan alueen pistepilveä. Tämän jälkeen kunkin rajatun kasa-alueen perustaso määritettiin sovittamalla taso kasan lähiympäristössä olevaan pistejoukkoon.

Lopulliset kasoihin kuuluvat pisteet saatiin valikoimalla karkeasti rajattujen kasojen ja niiden lähiympäristön pisteiden yhteisestä pistejoukosta ne pisteet, jotka olivat selvästi kunkin kasa-alueen oman perustason yläpuolella. Kasojen tilavuudet laskettiin näin saatujen kasapisteiden määrittämän alueen pinta-alan ja kasapisteiden korkeuden (suhteessa kunkin kasan omaan perustasoon) perusteella.

Taulukossa 4 on esitetty tällä menetelmällä saadut kasojen tilavuudet. Kuvassa 19 esitetään kasojen rajaukset Agisoftissa ja avoimella lähdekoodilla automaattisesti suoraan tiheästä pistepilvestä.

Taulukko 4. Kasojen tilavuudet menetelmällä 4.

	Avoim lähdekoodi [m3]
Kasa 1	1152
Kasa 2	709
Kasa 3	1847
Kasa 4	473
Kasa 5	904
Kasa 6	3513



Kuva 19. Vasemmalla menetelmän 1 pinnankorkeusmalli, johon on rajattu kasat manuaalisesti monikulmioilla ja oikealla avoimella lähdekoodilla automaattisesti pistepilvestä rajatut kasat ja rakennukset.

Menetelmä oli siis täysin automaattinen valmiista pistepilvestä eteenpäin. Pistepilven analysoinnin lisäksi toteutettiin alustavat laskentamenetelmät kasojen tilavuuksien muutosten määrittämiseen. Tällöin lähtötietoina käytettiin lounas-koillinen lentosuunnalla luotua 3D-mallia ja kaakko-luode perusteella saatua pistepilveä. Syötepistepilvestä haettiin myös rakennukset ja mallinnettiin ne karkeasti. Kuvan 19 oikeanpuoleisessa kuvassa on yksi rakennus mallinnettu harmaalla laatikolla. Tällä haluttiin kokeilla yksinkertaisten piirteiden mallintamista. Kaivoksella yksinkertainen kohde voi olla muu kuin rakennus.

3.4 MITTAUKSET SMA MINERALILLA

SMA Mineralin Ristimaan avolouhos kartoitettiin Lapin Ammattikorkeakoulun maanmittaustekniikan toimesta opiskelijaharjoituksena Geotrimin Geodronella (kuva 20). Kartoitus tehtiin 13.11.2018, jolloin sää oli harmaa, sumuinen ja lennon alussa tihusti hieman vettä.



Kuva 20. Ristimaan avolouhoksen kartoituksessa käytetty drone.

Ennen kartoittamista alueelle laitettiin viisi signaalia, joissa oli mustavalkoiset sektorit (kuva 21). Signaalien paikat määritettiin GNSS-vastaanottimen avulla ja se asemoitiin kolmijalassa kohtisuoraan sauvassa olevan ilmakuplan avulla. GNSS:llä tehtiin kolme erillistä mittausta ja yksittäinen mittausta oli 60 mittauksen keskiarvo. Kolmen keskiarvoistetun mittauksen vaihtelut olivat 1-2 mm luokkaa. Lopullinen paikka oli näiden kolmen mittauksen keskiarvo.

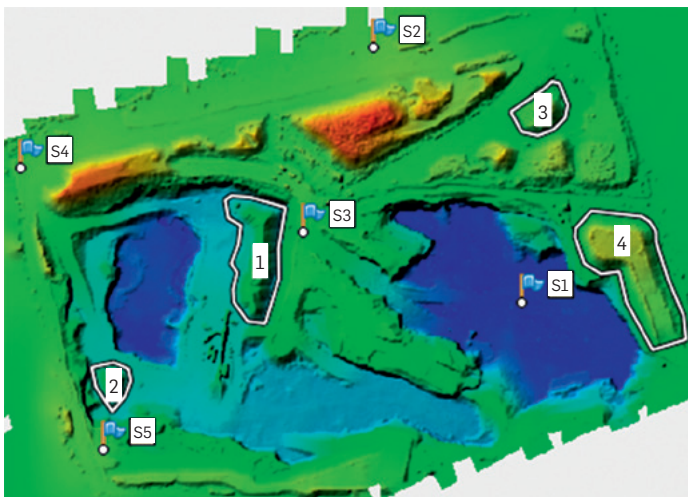
Signaalien aseointiin ja mittaamiseen meni aikaa lähes kaksi tuntia. Signaalien paikat oli katsottu valmiiksi maastokartasta, mutta kaivosalue oli laajentunut siitä, ja paikat täytyi määrittää uudelleen paikan päällä. Kartoitetun alueen pinta-ala oli hie-man yli 20 hehtaaria, kuvauskorkeus oli 50 m ja kuvauslento kesti noin 23 minuuttia. Ilmakuvat olivat limittäin 65 % ja niitä otettiin yhteensä 217.



Kuva 21. Ristimaan avolouhoksen kartoituksessa käytetty signaali.

3.4.1. Menetelmä 1 tulokset

Tässä menetelmässä kasojen tilavuudet laskettiin Lapin AMK:n ottamien ilmakuvien ja määrittämien signaalointipisteiden avulla. Agisoft-projektiin tuotiin kaikki 217 ilmakuvaa, joista Agisoft onnistui yhdistämään 206. Ilmakuvien yhdistämisen tuloksena oli harva pistepilvi. Seuraavaksi ilmakuvista paikoitettiin manuaalisesti viisi signaalia. Kameran kalibrointiparametrien optimoinnin ja harvan pistepilven oikaisun jälkeen tehtiin tiheä pistepilvi. Tiheässä pistepilvessä oli noin 183 000 000 pistettä. Lopuksi tehtiin pinnankorkeusmalli tiheän pistepilven avulla, johon rajattiin itse valittujen kasojen paikat monikulmioiden avulla ja laskettiin niiden tilavuudet (kuva 22).



Kuva 22. Pinnankorkeusmalli Ristimaan avolouhoksesta, jossa näkyvät manuaalisesti paikoitettut viisi signaalia, monikulmioilla rajatut kasat ja niiden indeksit.

Kasojen tilavuudet on laskettu kahdella eri tavalla ja tulokset on esitetty taulukossa 5. Mean levelissä nollataso määräytyy monikulmion nurkkapisteiden z-koordinaattien keskiarvosta eli nollataso on XY-tasossa. Best fit planessa monikulmion nurkkapisteisiin sovitaan taso, joka ei välttämättä ole XY-tasossa. Molemmilla tavoilla lopullinen tilavuus on sovitettujen tasojen ylä- ja alapuolella olevien tilavuuksien erotus.

Taulukko 5. Kasojen tilavuudet menetelmällä 1 kahdella eri Agisofin tavalla.

	Best fit plane [m ³]	Mean level [m ³]
Kasa 1	18697	18942
Kasa 2	3081	3018
Kasa 3	4869	5036
Kasa 4	37811	38009

3.4.2 Menetelmä 4 tulokset

Menetelmässä 4 tutkittiin kasojen täysin automaattista mallinnusta ja tilavuuden määrittämistä käyttäen avoimen lähdekoodin työkaluja. Laskentamenetelmien syötteenä oli menetelmällä 1 Agisofilla luotu tiheä pistepilvi. Syötepistepilvestä rajattiin kiinnostavat kasat ensin karkeasti manuaalisesti. Manuaalinen karkea rajausta oli tarpeen, koska tutkittavalla alueella oli merkittäviä korkeuseroja muutoinkin kuin kasojen osalta eli yhteistä ”perustaso” ei ollut löydettävissä (vrt. Kemin Energian tasainen asfalttikenttä). Tämän jälkeen kunkin rajatun kasan perustaso määritettiin sovittamalla taso kasan lähiympäristössä olevaan pistejoukkoon.

Lopulliset kasoihin kuuluvat pisteet saatiin valikoimalla karkeasti rajattujen kasojen ja niiden lähiympäristön pisteiden yhteisestä pistejoukosta ne pisteet, jotka olivat selvästi kunkin kasan oman perustason yläpuolella. Kasojen tilavuudet laskettiin näin saatujen kasapisteiden määrittämän alueen pinta-alan ja kasapisteiden korkeuden (suhteessa kunkin kasan omaan perustasoon) perusteella. Taulukossa 6 on esitetty tällä menetelmällä saadut kasojen tilavuudet.

Taulukko 6. Kasojen tilavuudet menetelmällä 4.

	Avoin lähdekoodi [m ³]
Kasa 1	17889
Kasa 2	2826
Kasa 3	4444
Kasa 4	34340

3.5 MITTAUSTEN AUTOMATISOINTI AGISOFTISSA

Tässä pyrittiin automatisoimaan Kemin Energian kasojen tilavuuksien laskentaa mahdollisimman paljon Agisoft-ohjelmassa. Projekti tehtiin ensin kerran alusta loppuun manuaalisesti yhden lentosuunnan kuvilla (noin puolet kokonaismäärästä). Jotta projektin mallien ja kasojen tilavuuksien päivittäminen onnistuisi jatkossa automaattisesti uusien kuvien avulla (toinen lentosuunta), tehtiin Agisoftin Batch Process -työkalulla xml-tiedostoja, jotka suorittavat automaattisesti komentoja oikeilla parametreilla.

Signaalien keskipisteiden paikoitus voidaan tehdä Agisoftissa automaattisesti, mutta siihen jää manuaalisia jälkityövaiheita, jonka vuoksi signaalien paikoitus tehtiin kokonaan manuaalisesti. Agisoftiin tehtiin kaksi xml-tiedostoa: ennen ja jälkeen signaalien paikoitusta tapahtuvat toimenpiteet. Ensimmäinen xml-tiedosto suoritti ensin Python-koodin, joka poisti projektista vanhat ilmakuvat ja lisäsi uudet, jonka jälkeen yhdisti ilmakuvat ja teki harvan pistepilven.

Signaalien koordinaatit säilyvät projektissa, joten jos käytetään samoja kiinteitä signaaleja, niin niiden keskipisteet täytyy vain kohdistaa paikoilleen manuaalisesti. Kohdistamisen nopeuttamiseksi tiettyyn signaaliin kuuluvat ilmakuvat voidaan suodattaa esiin. Ennen kuin toinen xml-tiedosto suoritettiin, poistettiin ilmakuvien valinnat ja valittiin signaalintipisteet.

Toinen xml-tiedosto optimoi kameran kalibroitiparametrit ja oikaisi harvan pistepilven sekä teki tiheän pistepilven. Tämän jälkeen jatkoanalysointimenetelmästä riippuen tiheä pistepilvi vietiin laz-tiedostoon tai tehtiin pinnankorkeusmalli ja suoritettiin Python-koodi, joka laskee kaikkien monikulmioiden rajaamien kasojen tilavuudet.

Tällä tavoin käsittelyä voidaan automatisoida aika paljon, vaikka työläin vaihe, signaalien keskipisteiden paikoitus, jääkin jäljelle. Lisäksi automatisoimalla varmistetaan, että parametrit ovat joka kerta samat. Jos vaadittava tarkkuus kasojen tilavuuksille on riittävä ilman signaaleja, niin voidaan tehdä xml-tiedosto, joka tekee kaikki toimenpiteet alusta loppuun automaattisesti.

3.6 PILVIPALVELUT

Kolmas lähestymistapa on käyttää ulkopuolista tahoa. Mittausdatan voi ladata ohjelmistotoimittajan pilvipalveluun, jossa se prosessoidaan. Tällöin itsellä ei tarvitse olla tehokasta työasemaa prosessointia varten eikä ohjelman vuosilisenssiä tarvitse maksaa, vaan maksaa vain käytöstä. Esimerkiksi Propeller tarjoaa mittausdatan prosessointia pilvipalvelussa. Mittausdata ladataan internet selaimen kautta pilvipalveluun, jossa se prosessoidaan 24 tunnin sisällä. Prosessoinnin välttämättömät työvaiheet on siis automatisoitu ja ammattilaiset tarkistavat valmiin tuloksen. Tämän jälkeen 3D-aineistoa voidaan analysoida, mitata, jakaa, kommentoida ja raportoida visuaalisessa 3D-käyttöliittymässä. (Mäenpää, Propeller Aerobotics Pty, 2018)

Propeller tekee myös AeroPoints itsepaikoittuvia älysignaaleja (kuva 3). Kuvauslennon jälkeen AeroPointsin data latautuu automaattisesti pilvipalveluun ja mittausdatan prosessoinnissa 3D-malli orientoituu AeroPointsin määrittämään koordinaatistoon. (Mäenpää)

4. Tulosten analysointi

Agisoftissa on kaksi eri tapaa kasojen tilavuuksien laskentaan: best fit plane ja mean level. Best fit planessa monikulmiolla rajatun alueen nurkkapisteisiin sovitetaan taso. Tämä taso on kasan nollataso ja sen yläpuolella olevat alueet ovat plus tilavuutta ja alapuolella olevat miinus. Mean levelissä nollataso määräytyy monikulmiolla rajatun alueen nurkkapisteiden z-koordinaattien keskiarvosta. Best fit plane on oletettavasti parempi ja tarkempi menetelmä kuin mean level, koska se muokkautuu paremmin maaston mukaan. Mitatuista kasoista ei kuitenkaan ole referenssimittauksia, niin näiden kahden tavan tarkkuutta ei voi arvioida.

Taulukossa 7 on esitetty Kemin Energian polttoainekasojen tilavuuksien mittaukset kaikilla neljällä menetelmällä ja verrattu tuloksia menetelmään 1, jossa käytettiin maastoon mitattuja signaaleja. Menetelmien 1-3 tilavuudet on laskettu Agisoftin best fit planella ja menetelmän 4 avoimen lähdekoodin työkaluilla. Näidenkään tuloksien tarkkuuksia ei voida arvioida, koska ei ole referenssimittauksia, mutta oletettavasti menetelmä 1 on tarkin, koska sitä käytetään yleisesti tilavuuksien määrittämisessä.

Taulukko 7. Neljällä eri menetelmällä saadut Kemin Energian kasojen tilavuudet ja niiden vertailu menetelmään 1.

	Menetelmä 1 [m ³]	Menetelmä 2 [m ³]	Menetelmä 3 [m ³]	Menetelmä 4 [m ³]
Kasa 1	1131	1153 (+1,9 %)	1126 (-0,4 %)	1152 (+1,9 %)
Kasa 2	725	742 (+2,3 %)	722 (-0,4 %)	709 (-2,2 %)
Kasa 3	1845	1884 (+2,1 %)	1841 (-0,2 %)	1847 (+0,1 %)
Kasa 4	485	498 (+2,7 %)	484 (-0,2 %)	473 (-2,5 %)
Kasa 5	904	920 (+1,8 %)	905 (+0,1 %)	904 (0 %)
Kasa 6	3335	3403 (+2,0 %)	3325 (-0,3 %)	3515 (+5,4 %)

Menetelmässä 2 ei käytetty ollenkaan signaaleja ja siinä kasojen tilavuudet ovat keskimäärin 2,1 % suurempia kuin signaaleja käytettäessä. Kaikkien kasojen tilavuudet ovat suurempia kuin signaaleja käytettäessä. Poikkeamaan on ainakin kaksi syytä. 3D-malli ei skaalaudu ihan oikein ilman signaaleja ja kasat on rajattu hieman eri lailla, koska monikulmioita ei pystynyt tuomaan menetelmästä 1 paikoituseron vuoksi. Datumien testissä hiekkakasan tilavuus ilman signaaleja oli 2,5 % pienempi kuin signaaleja käytettäessä (Datumate, 2017). Tilavuuden poikkeaman suuruusluokka oli siis samaa luokkaa, mutta etumerkki eri. Ilman signaaleja ei näiden testin perusteella päästä kovin hyvään tarkkuuteen, mutta joissakin tapauksissa se voi olla riittävä.

Menetelmässä 3 tehtiin kolme omaa kiinteää signaalia menetelmän 1 avulla. Tällä tavalla välttyään signaalien viemiseltä maastoon ja niiden paikoittamiselta ennen dronen lennätystä. Keskimäärin kasojen tilavuudet poikkeavat tällä menetelmällä 0,3 % verrattuna menetelmään 1. Tämän testin perusteella omien kiinteiden signaalien käyttäminen voi olla toimiva ratkaisu verrattuna signaalien maastoon viemiselle ja niiden paikoittamiselle jokaista dronekuvausta ennen.

Menetelmä 4 perustui avoimen lähdekoodin laskentamenetelmiin pistepilvestä eteenpäin, joten syötteenä oli Agisoftin menetelmällä 1 tuottama tiheä pistepilvi. Tällä menetelmällä kasojen tilavuudet poikkeavat keskimäärin 2,0 % verrattuna menetelmään 1 ja suurin poikkeama on 5,4 %. Lisäksi on hyvä huomata, että poikkeamia on sekä positiiviseen että negatiiviseen suuntaan. Merkittävin syy poikkeamiin on kasojen erilainen rajautuminen. Menetelmässä 1 kasat rajattiin manuaalisesti Agisoftissa ja menetelmässä 4 automaattisesti avoimen lähdekoodin menetelmillä tiheästä pistepilvestä. Lisäksi laskentamenetelmän parametreille valitut arvot vaikuttivat lopputuloksiin.

Taulukossa 8 on esitetty SMA Mineralin Ristimaan avolouhoksen kasojen tilavuuksien mittaukset kahdella menetelmällä. Avoimen lähdekoodin menetelmän 4 tuloksia verrattiin menetelmään 1, jossa käytettiin maastoon mitattuja signaaleja. Tässäkään tapauksessa ei ole referenssimittauksia, joten kasojen todellisia tilavuuksia ei tiedetä.

Taulukko 8. Kahdella eri menetelmällä saadut SMA Mineralin kasojen tilavuudet ja vertailu menetelmään 1.

	Menetelmä 1 [m ³]	Menetelmä 4 [m ³]
Kasa 1	18697	17889 (-4,3 %)
Kasa 2	3081	2826 (-8,3 %)
Kasa 3	4869	4444 (-8,7 %)
Kasa 4	37811	34340 (-9,2 %)

Menetelmän 4 kasojen tilavuudet ovat keskimäärin 7,6 % pienemmät kuin menetelmällä 1 ja suurin poikkeama on 9,2 %. Merkittävin syy erilaisiin tuloksiin on jälleen kasojen erilainen rajautuminen. Automaattisen rajauksen osalta erityisenä hankaluutena oli rinteessä tai lähellä rinnettä olevat kasat, erityisesti kasa 4. Näissä tapauksissa kasan reunan löytäminen ei tähän kokeiluun toteutetuilla laskentamenetelmillä ole vielä riittävän luotettavaa. Laskentamenetelmän parametreille valitut arvot vaikuttivat lopputuloksiin, joten parametrien arvoja säätämällä olisi ollut mahdollista saada lähempänä menetelmällä 1 saatuja tuloksia.

5. Yhteenveto

Kaivosalueen tuotantoaluetta mitattaessa ja mallinnettaessa perinteinen GNSS-vastaanottimen pistemäinen mittausta ja dronen ilmakuvista muodostava pistepilvi ja 3D-mallinnus eroavat toisistaan suuresti. Jalkaisin tapahtuvassa GNSS-mittauksessa kartoittajan täytyy liikkua tuotantoalueella ja kiivetä mitattavien kasojen päälle. Drone voi lentää alueen yllä automaattisesti ja ottaa alueesta ilmakuvat, joista muodostetaan 3D-malli toimistolla. Dronemittaukset voivat olla tapauksesta riippuen merkittävästikin nopeampi tehdä. Toisaalta drone on alttiimpi sääolosuhteille toisin kuin jalkaisin tapahtuva mittaaminen.

Viimeisen kahden vuoden aikana markkinoille on tullut laitteita, joiden avulla on mahdollista päästä dronen kuvanotto paikassa senttimetrin tarkkuuteen. Vuonna 2018 kaksoistaajuinen GNSS-siru tuli ensimmäiseen älypuhelimien ja RTK-moduuli ensimmäiseen droneen. Paikoitustarkkuuden paruntuessa merkittävästi signaalien määrää voidaan vähentää tai niistä voidaan jopa luopua. Signaalien maastoon vieminen ja niiden paikoittaminen vievät suurimman osan dronemittaukseen kuluvasta ajasta, joten mitä vähemmän niitä tarvitaan, sitä enemmän säästyy aikaa eikä tuotantoalueella tarvitse liikkua.

Tarvittaessa voidaan käyttää myös älysignaaleja, jotka paikoittavat itse itsensä. Mittauksen helpottamiseksi ja automatisoimiseksi on lisäksi kehitetty järjestelmiä, joiden avulla dronea voidaan teknisesti käyttää jatkuva-aikaisesti.

Tässä hankkeessa tuotantoalueen 3D-mittauksista ja -mallinnuksesta kokeiltiin Kemian Energian lämpökeskuksen polttoainekasolle sekä SMA Mineralin Ristimaan avolouhokselle. Kemian Energia valikoitui ensimmäiseksi mittaushankkeeksi, koska se on suhteellisen pieni ja rajattu alue, josta saatiin helposti mittaustietoja mallinnusmenetelmien kehittämiseen. Lisäksi polttoainekasat kuvastivat riittävällä vastaavuudella kaivosalueen kivikasoja.

Molemmissa kohteissa mallinnettiin koko tuotantoalue ja määritettiin kasojen tilavuuksia erilaisilla menetelmillä. Mallinnuksessa ja kasojen tilavuuksien määrittämisessä ensimmäisenä työkaluna oli pelkästään Agisoft. Kemian Energian mallinnuksessa menetelmässä 1 käytettiin signaaleja, menetelmässä 2 niitä ei käytetty ollenkaan ja menetelmässä 3 tehtiin kolme omaa kiinteää signaalia menetelmän 1 avulla.

Menetelmällä 1 saatuja kasojen tilavuuksia käytettiin vertailutuloksina, koska kasojen todellisia tilavuuksia ei tiedetty. Menetelmä 1 on nykyisin yleisesti käytettävä

menetelmä. Menetelmällä 2 saadut tilavuudet olivat keskimäärin 2,1 % suurempia kuin signaaleja käytettäessä menetelmässä 1. Puolestaan menetelmällä 3 saadut tilavuudet poikkeavat keskimäärin vain 0,3 % menetelmään 1 verrattuna. Näiden testitulosten perusteella kiinteitä signaaleja voisi käyttää liikuteltavien joka mittauskerta paikoitettavien signaalien sijasta ja näin nopeuttaa dronella tapahtuvaa mittauksia.

Menetelmässä 4 tutkittiin kasojen täysin automaattista mallinnusta ja kasojen tilavuuksien määrittämistä käyttäen avoimen lähdekoodin työkaluja. Laskentamenetelmien syötteenä oli menetelmällä 1 Agisoftilla luotu tiheä pistepilvi. Tällä tavoin saatujen kasojen tilavuudet poikkesivat keskimäärin 2,0 % verrattuna menetelmään 1 ja suurin poikkeama oli 5,4 %. Merkittävin syy poikkeamiin on kasojen erilainen rajautuminen. Menetelmässä 1 kasat rajattiin manuaalisesti Agisoftissa ja menetelmässä 4 automaattisesti avoimen lähdekoodin menetelmillä tiheästä pistepilvestä.

Myös pistepilven tekemiseen ilmakuvista on olemassa avoimia lähdekoodeja. Jos laskentamenetelmää laajentaa koskemaan myös tiheän pistepilven tekemistä, niin sen jälkeen ei tarvitse mallintamiseen ja tilavuuksien laskemiseen ollenkaan kaupallista ohjelmaa.

SMA Mineralin Ristimaan avolouhoksen mallinuksessa Agisoftissa käytettiin pelkästään menetelmää 1 ja avoimen lähdekoodin menetelmää 4. Menetelmällä 1 saadut kasojen tilavuudet olivat jälleen vertailuarvot. Menetelmän 4 kasojen tilavuudet ovat keskimäärin 7,6 % pienemmät kuin menetelmällä 1. Merkittävin syy erilaisiin tuloksiin on jälleen kasojen erilainen rajautuminen verrattuna manuaalisesti tehtyyn. Automaattisen rajauksen osalta erityisenä hankaluutena oli rinteessä tai lähellä rinnettä olevat kasat. Jatkokehityskohteena olisikin laskentamenetelmien kehittäminen, jotta kasan rajaaminen olisi luotettavampaa myös rinteissä ja niiden vieressä.

Avoimen lähdekoodin työkaluilla toteutettiin lisäksi alustavat laskentamenetelmät kasojen tilavuuksien muutosten määrittämiseen. Laskentamenetelmät havaitsivat siis kahden eri lennon välillä tapahtuneet muutokset. Laskentamenetelmillä haettiin syöte-pistepilvestä myös rakennukset ja mallinnettiin ne karkeasti. Samaa laskentamenetelmää voi käyttää myös muiden yksinkertaisten kohteiden tunnistamiseen ja mallintamiseen.

Käytännön havaintona kaivosalueen mittauksiin liittyen signaalien paikat kannattaa katsoa maastokartasta valmiiksi etukäteen ja määrittää niiden koordinaatit. Tällä tavoin on helpompi ja nopeampi suunnistaa oikeisiin paikkoihin ja signaaleja tulee tasaisemmin koko kaivosalueelle. On kuitenkin hyvä huomioda, että maastokartta voi olla vanha ja kaivos voi olla laajentunut sen jälkeen.

Hankkeessa toteutettujen testien tulosten perusteella kiinteillä signaaleilla ja ilman signaaleja päästään yllättävän lähelle signaaleja käyttämällä saatuja tuloksia. Jatko-tutkimuksena olisikin hyvä kokeilla laajemmilla testeillä RTK-dronella erilaisilla signaalivaihtoehdoilla. Jos näillä tavoilla päästäisiin riittäviin tarkkoihin tuloksiin, niin tuotantoalueen mittaaminen olisi yhä nopeampaa ja turvallisempaa.

Mallinnuksessa avoimen lähdekoodin laskentamenetelmiä jatkokehittämällä automatisointi olisi mahdollista. Myös Agisoftilla tai vastaavalla ohjelmalla voidaan päästä lähelle automaattista mallintamista. Seuraavassa vaiheessa pitäisi myös automatisoida mittausdatan siirtyminen mallinnusohjelmalle.

Lähteet

- Agisoft. Tutorial: Orthomosaic and DEM Generation with Agisoft PhotoScan Pro 1.3 (with Ground Control Points).
- Broadcom. Third-Generation GNSS Location Hub with Dual Frequency Support. Hakupäivä 22.11.2018 <https://www.broadcom.com/products/wireless/gnss-gps-socs/bcm47755>
- Datamate. 2017. Stockpile Volume Calculation. Case Study.
- DJI. 2018a. DJI Launches The Phantom 4 RTK Globally. Hakupäivä 9.11.2018 <https://www.dji.com/newsroom/news/dji-launches-the-phantom-4-rtk-globally>
- DJI. 2018b. Next Generation Mapping – Saving Time in Construction Surveying with Drones. Hakupäivä 9.11.2018 <https://enterprise.dji.com/news/detail/next-generation-mapping>
- DJI. 2018c. Phantom 4 RTK. Hakupäivä 9.11.2018 <https://www.dji.com/phantom-4-rtk>
- DroneDeploy. 2018. The Future of Drone Mapping with the DJI Phantom 4 RTK. Hakupäivä 12.11.2018 <https://blog.dronedeploy.com/the-future-of-drone-mapping-with-the-dji-phantom-4-rtk-ae484f4bd372>
- European GNSS. 2018. World's first dual-frequency GNSS smartphone hits the market. Hakupäivä 30.10.2018 <https://www.gsa.europa.eu/newsroom/news/world-s-first-dual-frequency-gnss-smartphone-hits-market>
- GPS World. 2017. Big news from Broadcom: 30-cm positioning for consumers. Hakupäivä 22.11.2018 <https://www.gpsworld.com/big-news-from-broadcom-30-cm-positioning-for-consumers/>
- Imatran kaupunki. 2018. Drone mittaa jatkossa lumikasan Ukonniemessä. Hakupäivä 19.11.2018 https://www.imatra.fi/uutinen/2018-10-10_drone-mittaa-jatkossa-lumikasan-ukonniemess%C3%A4
- Jokinen, A-P. 2014. UAV-kuvaus kiviainesten kartoituksessa. Insinööritö Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- Karpowicz, J. 2017. How are Mining & Aggregates Professionals Using Drones in 2017?. Commercial UAV Expo.
- Kespry Inc. 3 Ways Drones Make Aggregates and Mining Companies More Profitable.
- Kivirock. 2018. Maanrakennus- ja kaivosalan ammattilehti, 1/2018.

- Laine, T. 2016. RPAS-kuvaus yhdistettynä RTK-mittattuihin kuvanotto paikkoihin. Insinööri työ. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- Maaseudun tulevaisuus. 2018. Imatralaisyhtiön kehittämä lentorobotti valvoo metsäjätin tehdasta – ilman ihmisen ohjausta. Hakupäivä 19.11.2018 <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/metsä/artikkeli-1.260925>
- Mäenpää, S. Tehoa dronekuvauksiin: PropellerAeroPoints ja pilvipalvelu. Geotrim Oy.
- Pix4D. 2018. DJI Phantom 4 RTK: next gen accurate drone surveys. Hakupäivä 12.11.2018 <https://www.pix4d.com/blog/phantom-4-RTK-drone-Pix4Dmapper>
- Propeller Aerobotics Pty. 2018. Get Accurate Stockpile Volumes with Drone Surveying.
- Propeller Aerobotics Pty. How to get consistent stockpile measurements. Hakupäivä 5.9.2018 <http://help.propelleraero.com/material-management-and-inventory-reporting/how-to-get-consistent-stockpile-measurements>
- Propeller Aerobotics Pty. 2017. Theory and Practice of Stockpile Volume Calculations Using Drone Data.
- RumbleTools. RumbleToolsin autonominen robottidrone. Hakupäivä 19.11.2018 <https://www.rumbletools.fi/fi/ratkaisumme/>
- Sipola, J. & Leinonen J. & Pikkarainen H. 2017. Kehittämistarpeita Pohjois-Suomen kaivoksissa - louhokselta murskaukseen. Lapin Ammattikorkeakoulu.
- Sipola, J. 2017. Tutkimussuunnitelma: Kaivosten tuotantoalueiden 3D mallintaminen uusilla menetelmillä. Lapin Ammattikorkeakoulu.
- VideoDrone Finland Oy. 2018. GeoDrone PPK enables accurate image geotagging.

Pohjois-Suomen kaivoksien tarveselvityksessä esille nousi mm. tarve kaivosten laajojen tuotantoalueiden 3D-mittaukselle ja –mallinnukselle kustannustehokkaasti. Tähän julkaisuun on kerätty tietoa menetelmistä ja laitteista, joilla mittauksen voi tehdä helpommaksi ja nopeammaksi tai jopa automaattiseksi. Lisäksi tehtiin kahden tuotantoalueen mittaus tehtiin dronella, ja sen tuottamien ilmakuvien käsittelyä pyrittiin automatisoimaan mahdollisimman paljon. Tähän käytettiin sekä kaupallista ohjelmistoa että avoimen lähdekoodin itse toteutettua laskentamenetelmää. Tuotetuista 3D-malleista laskettiin erilaisten kasojen tilavuuksia ja verrattiin tuloksia.

Julkaisu liittyy Lapin ammattikorkeakoulun Optisen mittaustekniikan laboratorion toteuttamaan hankkeeseen Kaivosten tuotantoalueiden 3D mallintaminen uusilla menetelmillä. Hankkeessa kokeiltiin mm. kaivoksen maanpäällisen tuotantoalueen 3D-mallintamista mahdollisimman automaattisesti mittaustiedon perusteella. Mittaustiedot tuotettiin dronella, jotta voitiin selvittää koko ketjun, aina mittauksesta mallintamiseen, automatisoinnin mahdollisuus. Hanke toteutettiin 2017-2018 välisenä aikana ja sitä rahoitettiin Lapin liiton Alueelliset innovaatiot ja kokeilut –ohjelman toimesta.



LAPIN LIITTO



Lapin AMK
kehittämissympäristöt

OML

Optisen Mittaustekniikan
Laboratorio

LAPIN AMK

Lapland University of Applied Sciences

www.lapinamk.fi

ISBN 978-952-316-293-8