

Risto Lassila

Teknologian käyttö rakennusmittauksissa

Opinnäytetyö

Kevät 2018

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan Tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Risto Lassila

Työn nimi: Teknologian käyttö rakennusmittauksissa

Ohjaaja: Marita Viljanmaa

Vuosi: 2018 Sivumäärä: 33 Liitteiden lukumäärä: 5

Työssä tutkitaan teknologian käyttöä rakennustyömailla rakennusmittauksissa. Pääasiallisesti työ käsittelee rakennustyömaata mittaushenkilön näkökulmasta. Tarkoituksena on selvittää kuinka viedä rakennushanke läpi nykyteknologialla.

Ensimmäisenä tutkitaan, kuinka tontin maanpohjakartoitus suoritetaan radio-ohjattavalla kopterilla. Maapohjan pinnan muoto on tavoitteena saada tallennettua koordinaatistoon ja oikeaan tiedostomuotoon rakennustyömaan massalaskentoja varten.

Seuraavassa vaiheessa tutkitaan koneenohjauksen käyttöä. Kuinka on mahdollista tehdä ohjelma koneenohjaukselle ja saada se mahdollisimman yksinkertaiseen muotoon. Tavoitteena on suorittaa kaikki maanrakennusmittaukseen tarvittavat asiat koneenohjauksella.

Kolmannessa vaiheessa tutkitaan takymetrimittauksia, maastotietokoneelle tehtäviä ohjelmia ja takymetrin orientointia koordinaatistoon.

Avainsanat: mittaus, takymetri, Trimble

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Risto Lassila

Title of thesis: Technical construction measurements

Supervisor: Marita Viljanmaa

Year: 2018 Number of pages: 33 Number of appendices: 5

Thesis examines the use of technology at building sites in building measurements. Mainly, the work deals with the construction site from view of the measuring person. The purpose is to find out how to take the construction project through current technology.

The first is to study how the terrain mapping of the plot is carried out by a unmanned aerial system. The shape of the ground surface is intended to be stored in the coordinate system and in the correct file format for mass calculations in the construction site.

The next step is to examine the use of machine control. How to make a program for machine control and get it as simple as possible. The aim is to complete all the necessary earthwork measurements with machine control.

In the third phase, we will investigate the total station measurements, the programs on the landing computer and total station orientation in the coordinate system.

Keywords: measurement, total station, Trimble

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO.....	8
2 UAV.....	9
2.1 UAV:n historia.....	9
2.2 Laki.....	9
2.3 UAS-laitteisto yleisesti.....	10
2.4 Kaukokartoituksen toimintaperiaate.....	12
3 UAS-MITTAUSTYÖT.....	13
3.1 Mitattavan alueen maapistet.....	13
3.2 Lentoreitin suunnittelu.....	14
3.3 Kuvien jälkikäsittely.....	15
3.4 Kaukokartoituksen tarkkuus.....	17
3.5 Poistettava maamassa rakennusalueella.....	18
4 KAIVINKONEEN KONEENOHJAUSJÄRJESTELMÄ.....	20
4.1 Koneenohjausjärjestelmän historiaa.....	20
4.2 Kepitön ja viitaton työmaa.....	20
4.3 Koneenohjaus yleisesti.....	21
4.4 Koordinaattijärjestelmät ja -muunnokset.....	23
4.5 Kuljettajan näkymät.....	23
4.6 Ohjelman tekeminen koneenohjausta varten.....	26
5 TAKYMETRIMITTAUKSET.....	27
5.1 Takymetri.....	27
5.2 Takymetrin orientointi koordinaatistoon.....	27
5.3 Mittaaminen koordinaatistossa.....	28
5.4 Kartalla mittaaminen.....	28
5.5 Työn tekeminen maastotietokoneelle.....	30

6 Yhteenveto ja johtopäätökset	31
LÄHTEET	32
LIITTEET	33

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Hexakopteri lentovalmiina.....	11
Kuva 2. Maapiste maastossa.....	14
Kuva 3. GPS-antennien sijoitus kaivinkoneessa.....	22
Kuva 4. Trimblen tsc3 maastotietokone.....	29
Kuvio 1. Kartoituskuvauksen toimintamalli (Salmenperä 2004).	12
Kuvio 2. Lentoreitin suunnittelu Mission Planner -ohjelmistossa.....	15
Kuvio 3. Ortokartta rakennusalueelta Agisoft photoscan -ohjelmassa.	16
Kuvio 4. Maapisteitä Agisoft photoscan -ohjelmistossa.	16
Kuvio 5. Pintamalli rakennusalueesta.	17
Kuvio 6. Kartoituspisteiden erot.	18
Kuvio 7. Massat rakennusalueelta.	19
Kuvio 8. 3d-mallinäkyä kuljettajalle koneenohjauksen näytöllä.....	25
Kuvio 9. Suunniteltu työ koneenohjauksen näytöllä.	26
Kuvio 10. Valmis työ mittalaitteelle CADS GeoXY -ohjelmassa.....	30

Käytetyt termit ja lyhenteet

ETRS-GK23	European terrestrial reference system. ETRS on käytettävän koordinaattijärjestelmän nimi, GK on käytettävä karttaprojektio ja numero 23 on kaistan numero.
GCP	Ground control point. näkyvä objekti kuvissa, jonka avulla saadaan orientoitua koordinaatistoon.
GEOREFEROINTI	Kartan kiinnittämistä koordinaatistoon "Asemointi".
GNSS	Global navigation satellite system. Satelliittipaikannusjärjestelmä jonka on kehittänyt Yhdysvaltain puolustusministeriö.
HELMERT-MUUNNOS	Muuttaa pisteet koordinaatistosta toiseen.
ORIENTOINTI	Kojeen sijainnin määrittäminen olemassa olevassa koordinaatistossa.
ORTOKUVA	Ilmakuva maastosta.
RTK	Real time kinematic. Satelliittimittausmenetelmä, jossa käytetään vähintään kahta satelliitivastaanotinta.
UAS	Unmanned aircraft system. Miehitämätön ilma-aluksen järjestelmä, joka sisältää koneen lisäksi ohjausjärjestelmän ja maa-aseman.
UAV	Unmanned aerial vehicle. Miehitämätön ilma-alus kauko-ohjauksella.
WGS84	World Geodetic System84. Maailmanlaajuisesti käytössä oleva koordinaatisto, jonka origo on maapallon massakeskipisteessä. GPS-satelliittien käyttämä koordinaattijärjestelmä.

1 JOHDANTO

Insinööriyön aiheeksi valikoitui teknologian käyttö rakennusmittauksissa, koska kirjoittajalla on aikaisempaa taustaa mittalaiteteknologian kanssa ja ala on todella kiintoisaa. Tätä työtä varten on rakennettu maapohjakartoitustarkoitukseen käytettävä kopteri. Koneen rakentaminen vei aikaa kuukausia. Lähellä olikin, ettei kone valmistunut ajoissa tätä työtä varten.

Työssä tutkitaan teknologian käyttöä rakennustyömailla rakennusmittauksissa. Pääasiallisesti työ käsittelee rakennusalaa rakennusmittaajan näkökulmasta.

Takymetri on ollut nykypäiviin asti eniten käytetty mittaumenetelmä. Takymetrilla on pystytty suorittamaan niin maanrakennus- kuin talonrakennustyömaiden kaikki mittaus- ja merkitsemistyöt. Tämä ei ole mahdollista vielä muilla laitteilla, koska ne tarvitsevat apunaan takymetrimittauksia.

Mittausalalla on tapahtunut paljon edistystä laitteiden osalta teknologian kehittyessä. Takymetrin rinnalle on tullut koneenohjausjärjestelmät, laserkeilaus, kamera-teknologiaa sekä radio-ohjattavat lennokit.

Työ rajoittuu kolmeen osaan rakennusmittauksissa: UAS-kartoitus, kaivinkoneen koneenohjaus ja takymetrimittaukset. Työ käsittelee kuvitteellista rakennustyömaata. Työn edetessä lukija ymmärtää, kuinka rakennustyömaa edistyy eri mittausmenetelmien avustuksella.

2 UAV

2.1 UAV:n historia

Miehittämättömät ilma-alukset, eli UAV:t ovat sodankäynnin kehityksen tulos. Jo vuonna 1849 itävaltalaiset hyökkäsivät Venetsiaan ilmapallolla, joka kuljetti räjähteitä. Vuonna 1930 USA:n laivasto alkoi tutkia mahdollisuutta radio-ohjattavaan koneeseen. Kone valmistui vuonna 1937 nimellä Curtiss N2C-2, joka oli ensimmäinen radio-ohjattava kone. 1990-luvulla valmistuivat ensimmäiset koneet siviilikäyttöön. 2000-luvulla UAV:t alkoivat saada enemmän huomiota maailmassa. 2010-luvulla ala on kasvanut räjähdysmäisesti niin siviili- kuin sotilaskäytössä. (O'Donnel. 2017.)

2.2 Laki

Laissa on määrätty UAV:n maksimilentokorkeus 150 metriin pois lukien viralliset lennokkien lennätyspaikat. Näköyhteys on säilytettävä lennokkiin lennon aikana. Myös lennätettäessä videolinkin (first person view) välityksellä on koneen ohjaajalla oltava vähintään yksi tähyistäjä, joka havainnoi ilmatilaa muulta liikenteeltä. Tähyistäjällä on oltava suora näköyhteys lennokkiin sekä puheyhteys koneen ohjaajaan ilman viestintävälineitä. (L 7.11.2014/864.)

Ellei Suomea velvoittavasta kansainvälisestä sopimuksesta muuta johdu, Suomen alueella ei ilman lupaa saa lennon aikana ilma-aluksesta tai muusta ilmassa liikkuvasta laitteesta taltioida tietoa sähkömagneettisilla tai akustisilla kuvaamisen tai kuvantamisen menetelmillä:

- 1) ilmailulain [\(864/2014\) 11 §:n](#) 1 momentin nojalla ilmailulta pysyvästi rajoitetuista alueista;
- 2) linnoitusalueista, linnakkeista tai kasarmialueista;
- 3) sotasatamista tai sotilaslentokentistä;

4) puolustusvoimien varikoista tai varastoista;

5) puolustusvoimien viestiasemista, antennikentistä tai puolustuslaitteista tai – välineistä;

6) puolustusvoimien tai rajavartiolaitoksen maastoharjoituksista.

Mitä 1 momentissa säädetään, ei koske tiedon taltioimista yleisessä liikenteessä olevasta ilma-aluksesta yksityiseen tarkoitukseen. (L 18.8.2000/755.)

Lentäminen viittä kilometriä lähempänä siviililentokenttiä on kielletty. Lennättäminen kentän läheisyydessä vaati erillisen luvan sekä ilmoituksen lennonjohtoon. Useimmissa lentosuunnitteluohjelmistoissa on kartalla näkyvissä kieltoalueiden rajat. Aluksen kokonaismassa ei saa ylittää 25 kilogrammaa. Tiheästi asutetuilla alueilla ja väkijoukkojen päällä kokonaismassa ei saa ylittää seitsemää kilogrammaa. Koneen lennosta vastaavan tulee olla täysi-ikäinen. Liikennevirasto voi myöntää poikkeuslupia. (Trafi. 2017.)

2.3 UAS-laitteisto yleisesti

Miehittämättömässä ilma-aluslaitteistossa tarvittavat välineet ovat radio-ohjattava kopteri tai lentokone, maa-asema lentoreitin valvontaan ja kartoitukseen sopiva kamera. Koneen on pystyttävä kuljettamaan kameraa, esimerkiksi GoPro:ta tai järjestelmäkameraa. Ohjelma, jolla voidaan tehdä lentosuunnitelmia on tarpeen. Lisäksi tarvitaan ohjelma kuvien jälkikäsitteilyä varten.

UAV:n suurin rajoite käytölle on sää. Laitteessa on paljon hienoa tekniikkaa, joka ei voi altistua vedelle. Kova tuuli puolestaan rajoittaa lentoa ja vaikuttaa kartoituksen tarkkuuteen, koska kuvien laatu kärsii koneen heiluessa.

Työssä käytetään kuusimoottorista UAV-kopteria (Kuva 1). Lentopainoa koneella kameravarustuksessa on neljä kiloa. Koneella pystyy suorittamaan automaattilentoja 40 hehtaaria täydessä akkuvarustuksessa.

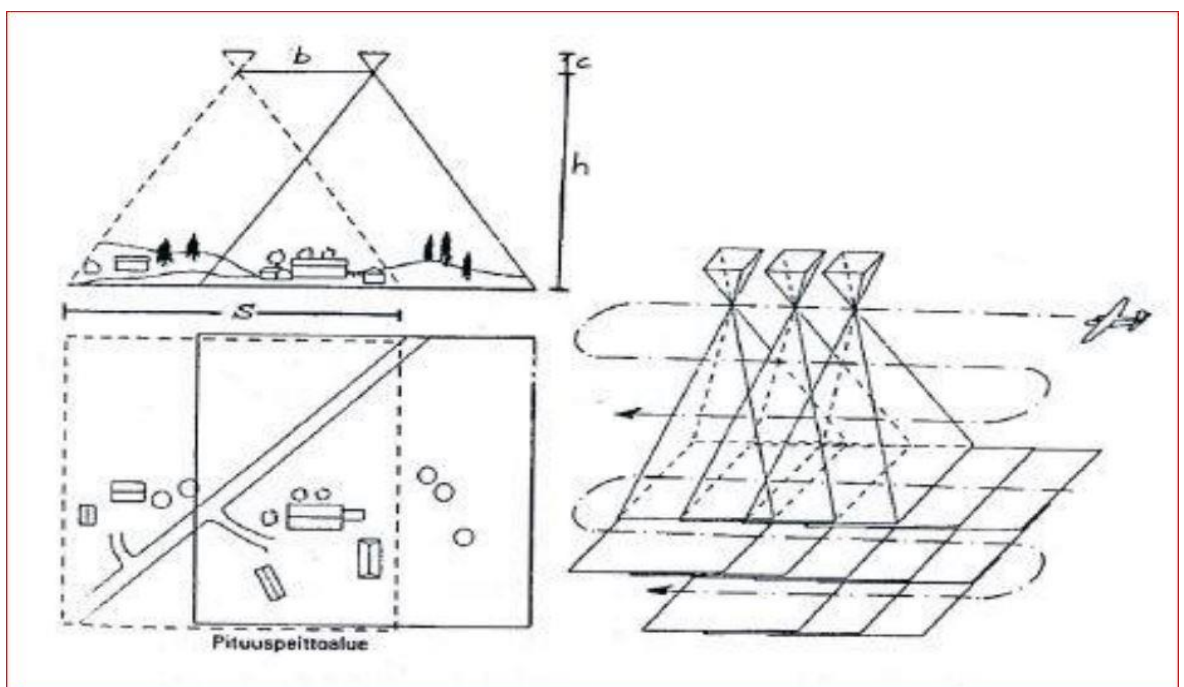
Koneeseen on kiinnitetty kolmiakselinen stabilisaattori. Stabilisaattori tasaa koneen heilahtelut sekä moottoreiden aiheuttamat värinät pitäen kameran paikoillaan saaden kuvista tasalaatuisempia. Stabilisaattorissa on kiinnitettyä Sony alpha6000 24,3mpix peilitön kamera. Kameran laukaisu tapahtuu kopterissa kiinni olevalla pienellä tietokoneella. Tietokone antaa käskyn kameran laukaisuun annetun metrimäärän välein GPS-mittaukseen perustuen. Kamera välittää laukaisusta tiedon takaisin tietokoneelle, joka tekee lentolokiin merkinnän laitteiston senhetkisestä sijainnista. Tietoja hyödynnetään lennon jälkeen kuvien jatkokäsittelyssä.



Kuva 1. Hexakopteri lentovalmiina.

2.4 Kaukokartoituksen toimintaperiaate

Kaukokuvauskartoitukset tehdään pystykuvauksina ja stereokuvauksen malleina. Kuvaaminen suoritetaan ennalta määrätyn reitin mukaisesti jonoina (kuvio 1), joissa pituussuuntainen peitto on vähintään 60 %. Vierekkäisten jonojen päällekkäisyys on oltava vähintään 30 % kohtuullisen tarkkuuden saavuttamiseksi. Pituus- ja vierekkäisjonojen peittoa suurentamalla saadaan kuvattavasta maastosta enemmän yksityiskohtia useampaan kuvaan, joten myös maaston tarkkuus paranee ortokuvaa tehtäessä. (Haggren. 2003.)



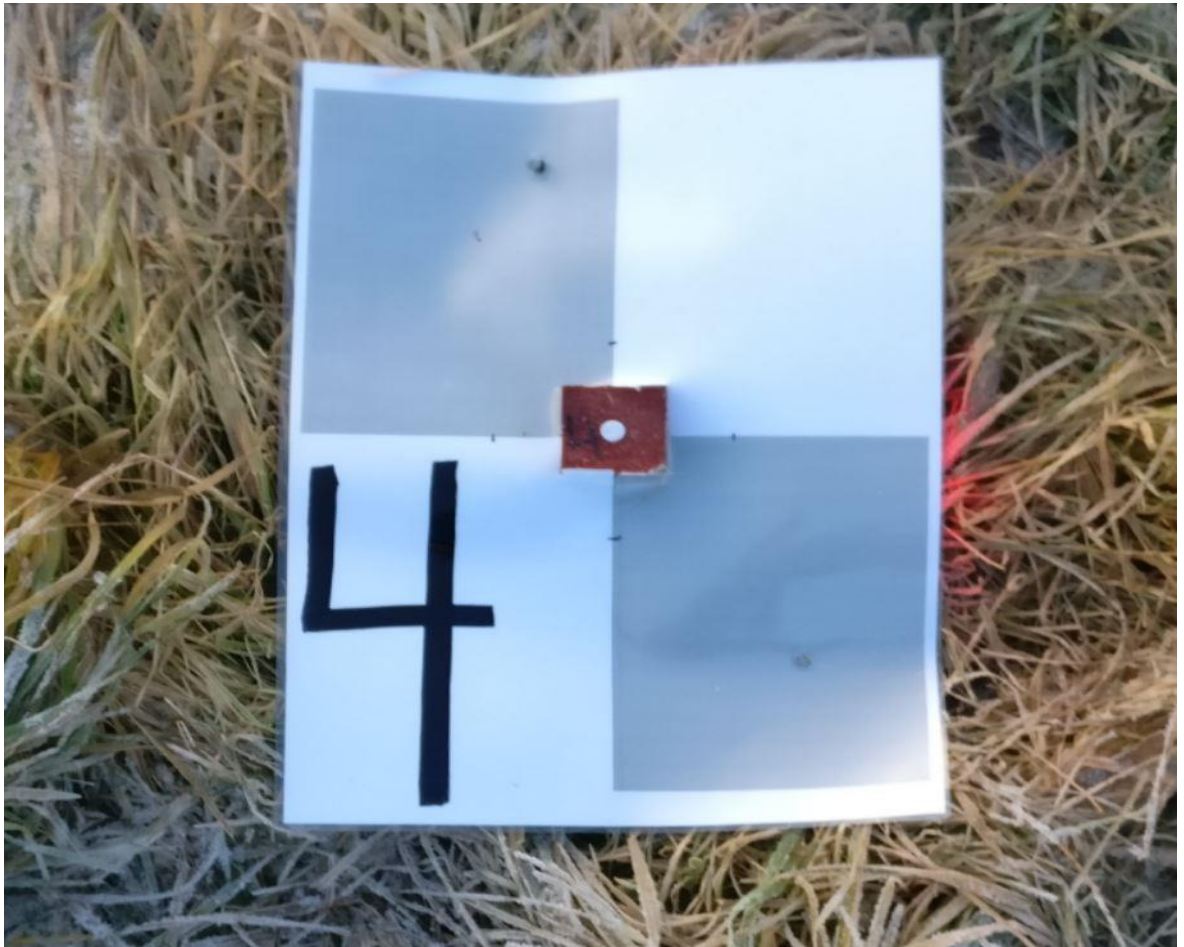
Kuvio 1. Kartoituskuvauksen toimintamalli (Salmenperä 2004).

3 UAS-MITTAUSTYÖT

3.1 Mitattavan alueen maapisteeet

UAS-mittaukset aloitetaan viemällä alueelle maapisteeet (ground control pointit), jotka merkitään maahan näkyvästi (kuva 2). Maapisteeiden avulla saadaan orientoitua kuva valtakunnalliseen koordinaatistoon. Pisteeitä lisäämällä saadaan tarkkuutta parannettua, koska kuvissa on maapisteeitä enemmän osoitettavana. Paperille kontrastia lisäämällä saadaan pisteeet erottumaan kuvista selkeämmin.

Työssä käytetty maapiste on A3-kokoiselle laminoidulle paperille tulostettu mustavalkoinen kuvio. Paperi on asetettu maahan ja kiinnitetty nauloilla nurkista. Tällä ehkäistään maapisteeiden liikkuminen kartoituksen aikana. Keskiosa on paperista leikattu pois, koska maassa olevien puupaalujen päät on erotuttava kuvista. Puupaalujen päässä olevaan nastaan on mitattu koordinaattitiedot Trimblen r10 GNSS-mittalaitteella.



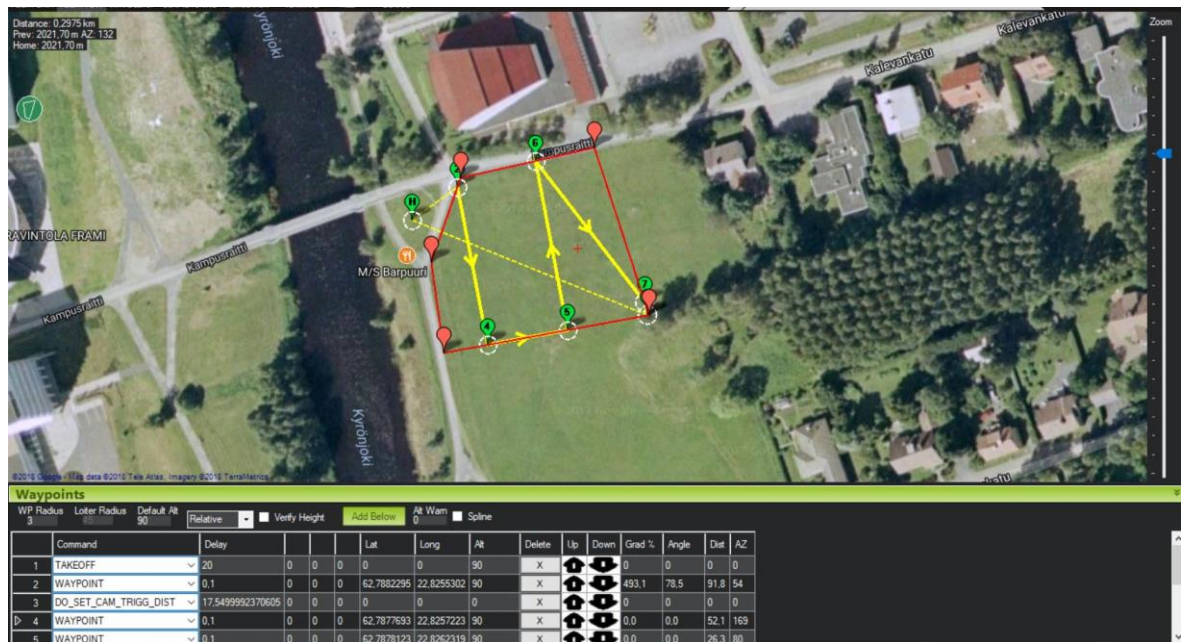
Kuva 2. Maapiste maastossa.

3.2 Lentoreitin suunnittelu

Työssä käytettiin Mission planner -ohjelmaa lentoreitin suunnitteluun. Ohjelmistossa määritetään Google mapsin kartalla lentoreitti (Kuvio 2), lentokorkeus metreinä ja myös pituus- ja vierekkäislinjojen peitto. Tässä työssä vierekkäislinjojen peitto on 75 % ja lentokorkeus 60 m.

Mission plannerissa lentosuunnitelmaa tehtäessä on huomioitava seuraavat asiat: On varmistettava etenemään perustuva kameran laukaisu, jonka perustana on kopterin oma GPS-mittaus. Lisäksi on tärkeä huomioida objektiivin polttovälin asetukset vastaamaan kameran omia asetuksia. Myös sulkimen nopeuden riittävästä on varmistuttava ennen lennon suorittamista, koska ohjelma laskee minimiajan sulkimelle kamerassa. Ajan ollessa suurempi kameran asetuksissa kamera

ei pysty vastaamaan tarpeeksi nopeasti laukaisukäskeihin. Tästä seuraa, ettei kaikkia suunniteltuja kuvia saada jälkikäsittelyyn.



Kuvio 2. Lentoreitin suunnittelu Mission Planner -ohjelmistossa.

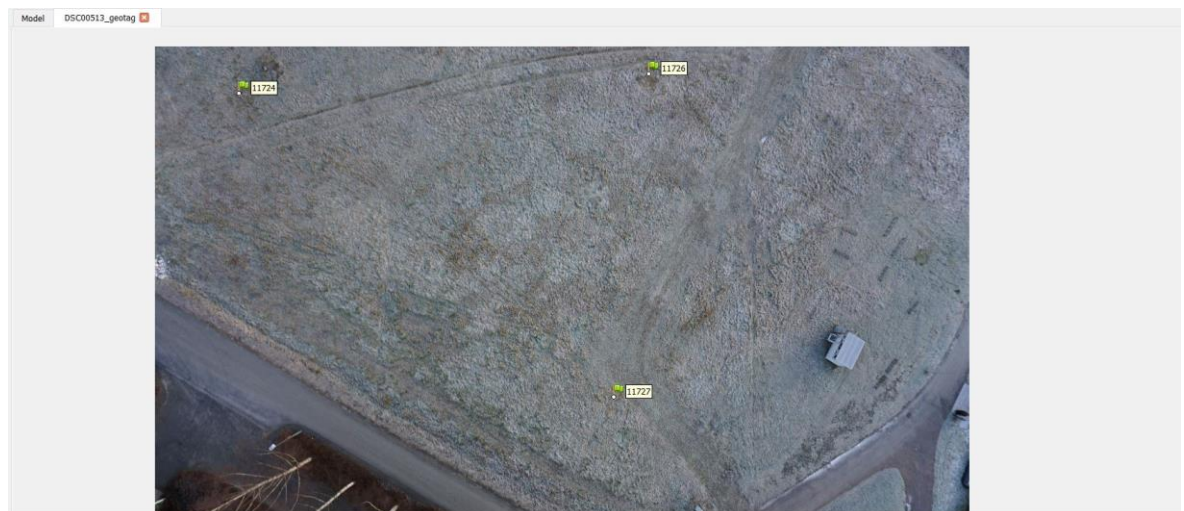
3.3 Kuvien jälkikäsittely

Kuvauskartoituksen päätyttyä kuvat tuodaan kamerasta koneelle jälkikäsittelyä varten. Kopterin tietokoneelta tuodaan kameras laukaisuajankohdat. Kuvat georeferoidaan siihen tarkoitetulla ohjelmistolla, jolloin kuvien tietoihin saadaan paikka-koordinaatit. Ohjelmisto tietää kuvan GPS-tarkkuudella olevan paikan ja pystyy tuottamaan kuvista ortokartan. Karttaa voidaan tallentaa eri tiedostomuotoihin tarpeen mukaan. Tässä työssä käytettiin Agisoft photoscan pro -ohjelmistoa (kuvio 3).



Kuvio 3. Ortokartta rakennusalueelta Agisoft photoscan -ohjelmassa.

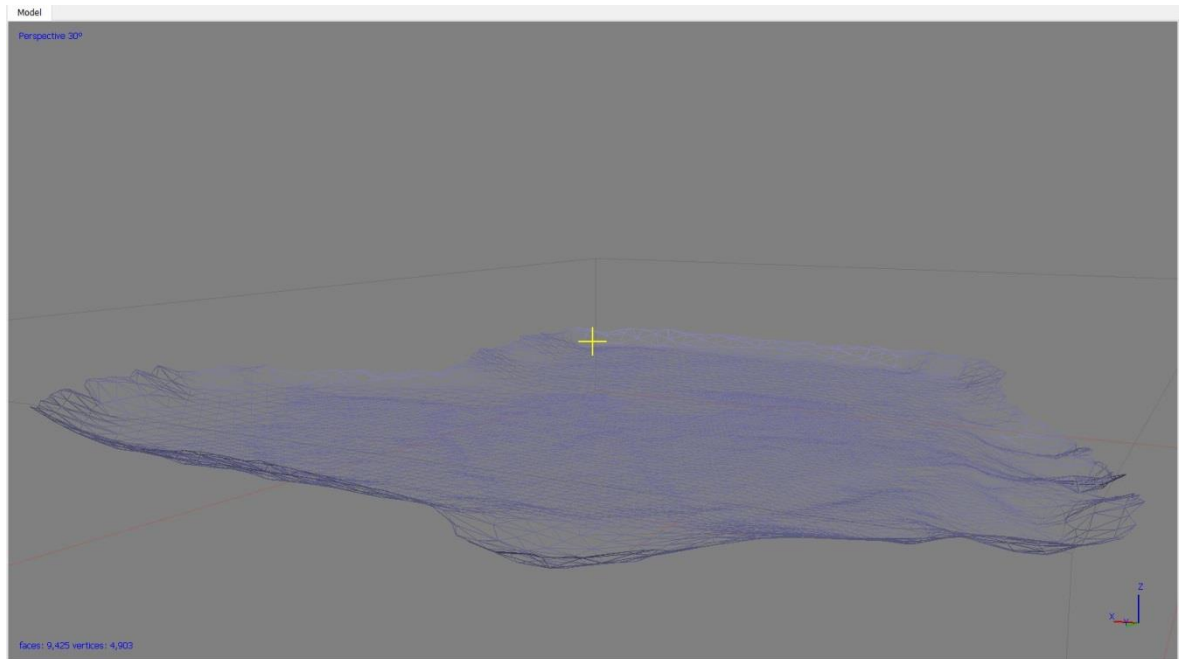
Agisoft photoscan -ohjelmistossa osoitetaan kuvissa näkyvät maapisteet. Maapisteen osoitus on suoritettava huolellisesti jokaisessa kuvassa hyvän tarkkuuden saamiseksi. Näkymä kolmesta maapistestä osoitettuna (kuvio 4).



Kuvio 4. Maapisteitä Agisoft photoscan -ohjelmistossa.

Kolmioitu pintamalli on orientoituna valtakunnalliseen koordinaatistoon Agisoft photoscan -ohjelmistolla (kuvio 5). Pintamallista saadaan tarkka tämänhetkinen

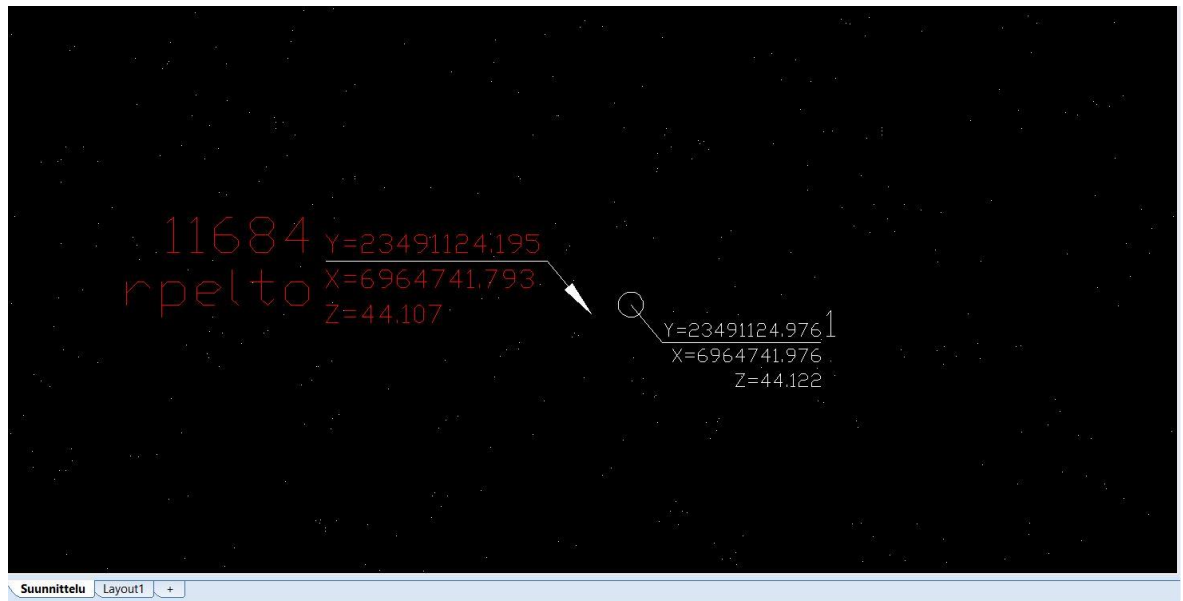
maanpinnan muoto ja sitä pystytään hyödyntämään rakennusalueella niin alueelle rakennusta suunniteltaessa kuin pohja-alueelta siirrettävän maamassan määrälaskennassa. Ohjelmistosta on mahdollista tulostaa raportti tehdystä työstä (Liite 1).



Kuvio 5. Pintamalli rakennusalueesta.

3.4 Kaukokartoituksen tarkkuus

Rakennusalueella suoritettiin maapohjan kartoitus myös orientoidulla takymetrillä. Kuviosta kuusi käy ilmi, että kaukokartoituksen ja takymetrikartoituksen koordinaattierot ovat mitättömän pieniä. Punaisella viitteellä takymetrillä kartoitetut koordinaatit ja valkoisella viitteellä on kaukokartoituksen pistepilvestä otetut koordinaatit (kuva 8). X- ja y-koordinaatit poikkeavat hieman toisistaan, koska pistetiedot on otettu eri kohdista toisiinsa nähden. z-koordinaatit puolestaan ovat vain 15 mm:n päässä toisistaan, joten kopterilla tehtyä kartoitusta voidaan pitää todella tarkkana.

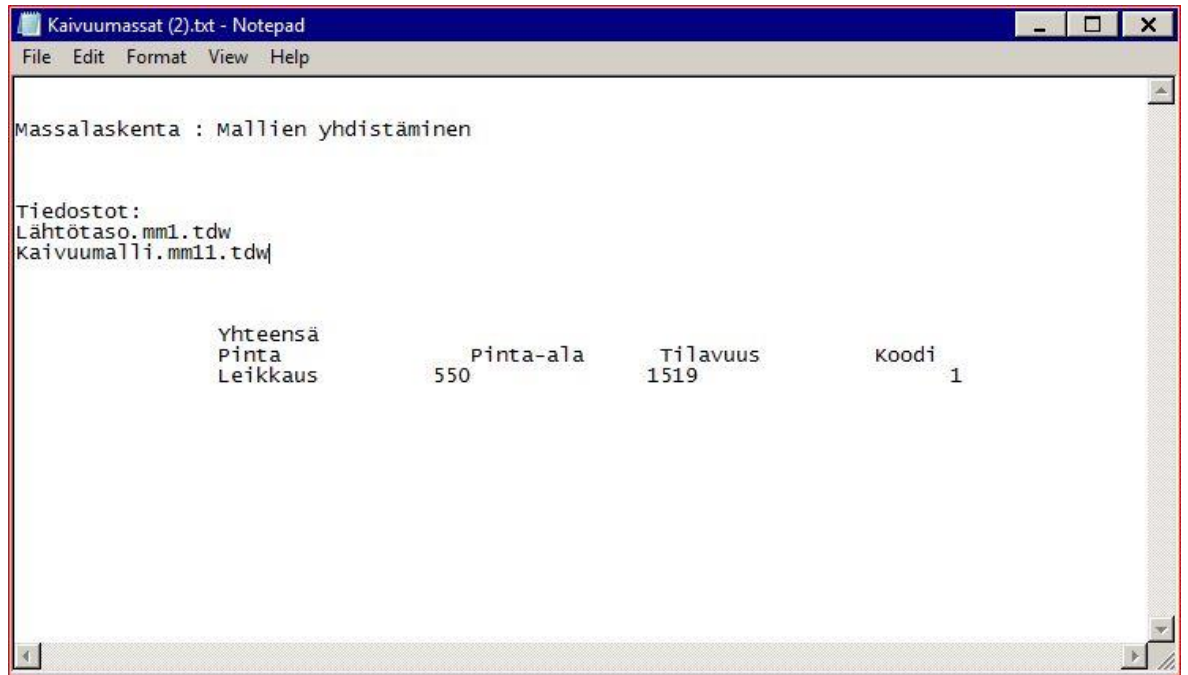


Kuvio 6. Kartoituspisteiden erot.

3.5 Poistettava maamassa rakennusalueella

Rakennusalueelta poistettavan maamassan laskenta suoritettiin 3D-win -ohjelmistossa. Ohjelmalle tuotiin tämänhetkisen rakennusalueen maanpinnan pintamalli sekä vektoritiedostosta kolmioitu pintamalli rakennuksen alimmasta leikkaustasosta. Ohjelmalla pystyttiin laskemaan näiden kahden pintamallin erotus. Rakennuksen alta poistettava maamassa on 1519 kuutiota (kuvio 7). 3D-win -ohjelmassa pystytään tuottamaan poikkileikkauskuvantoja kaivualueelta (liite 2).

Siirreltävän maamassan määrät on hyvä olla tiedossa koko rakentamisalueella jo ennen rakennushankkeeseen ryhtymistä, koska näin maamassojen siirtely saadaan mahdollisimman vähäiseksi ja maanrakennusurakan hinnan arviointi on helpompaa.



```
Massalaskenta : Mallien yhdistäminen

Tiedostot:
Lähtötaso.mm1.tdw
Kaivumalli.mm11.tdw

      Yhteensä
Pinta      pinta-ala      Tilavuus      koodi
Leikkaus   550                1519          1
```

Kuvio 7. Massat rakennusalueelta.

4 KAIVINKONEEN KONEENOHAUSJÄRJESTELMÄ

4.1 Koneenohjausjärjestelmän historiaa

Jukka Tervahaudan perustama Novatron T:mi aloitti vuonna 1991 pienessä toimistossa Tampereella. Yhtiö muutettiin myöhemmin osakeyhtiöksi. Ensimmäinen tuote jo perustamisvuonna oli tiehöylän kaltevuusmittari, joka korvasi koneiden rungossa olevan vesivaa'an. Seuraava tuote oli kaivinkoneisiin asennettava syvyysmittari, jossa oli kansainvälinen patentti anturiteknikassa. GPS-järjestelmää alettiin Novatronilla soveltamaan työkoneiden paikkatiedoissa 1990-luvun lopussa. 2000-luvulla siirryttiin Windows-käyttöjärjestelmään. Tämän jälkeen Novatronilla on panostettu suuresti koneiden 3D-mittauksiin ja niiden kehittämiseen.

20 vuotta yrityksen perustamisesta Novatron teki yhteistyösopimuksen saksalaisen MOBA AG:n kanssa. MOBA:lla on vuosikymmenien kokemus liikkuvien työkoneneiden automatisoinnista. (Novatron 19.1.2018.)

4.2 Kepitön ja viitaton työmaa

Yksi uusimmista tavoitteista maanrakennuksessa on, että koneenkuljettaja pystyy itsenäisesti suorittamaan esimerkiksi kaivuutyöt ilman mittaushenkilön tarvetta rakentaa merkintöjä maastoon. Tämä olisi yli 20 vuotta sitten ollut epätodellinen ajatus. Kuitenkin jo kymmeniä työmaita suoritetaan koneenohjauksella maassamme joka vuosi. (Jääskeläinen 2010, 40.)

Koneenohjaus nopeuttaa maanrakennustyötä arviolta 20 -30 %, koska mahdolliset mittamiehen odottelut sekä epäselvät tai suuri määrä kepityksiä työmaalla aiheuttavat viivästyksiä. Turha kaivaminen saadaan myös mahdollisimman vähäiseksi koneenohjauksen ansiosta.

4.3 Koneenohjaus yleisesti

Kaivinkoneen koneenohjausjärjestelmässä on otettava huomioon koneen kaikki liikkuvat osat järjestelmän toiminnan kannalta (Liite 4). Anturitekniikan sijoituksessa on huomioitava olosuhteet, jotta anturit eivät vahingoitu koneella työskennellessä. Koneenohjaus on sitä, että projektin suunnittelija lähettää koneen käyttäjälle tai rakennustyömaan mittaushenkilölle suunnitelmat, joita vielä mahdollisesti yksinkertaistetaan. Yksinkertaistetulla työllä selkeytetään koneenohjauksen näytöllä näkyvää työtä ja näin koneen kuljettajan on helpompi seurata tehtävää työtä. Kuljettaja voi halutessaan myös lähettää koneesta mittaustietoa takaisin suunnittelijalle. Kuljettaja voi kauhan kulmalla kartoittaa rakennusaluetta ja lähettää mittaustietoa takaisin suunnittelijalle. Täten suunnittelija voi reagoida suunnitelmien mahdollisiin muutoksiin. Koneenohjaus osaa ohjata kuljettajaa oikeaan leikkaussyvyyteen sekä suunnitelmien edellyttämiin kaltevuuksiin rakennusalueella. Koneenkuljettaja voi myös osoittaa kauhalla työmaalla kaivojen, sähköjalkojen ynnä muiden sijaintia. Käytettäessä GNSS-paikannusta RTK-korjaus aktivoituna on kuljettajalla tarkat x-, y-, z-koordinaatit tiedossa kauhan huulilevyssä.

Satelliitit kiertävät maata yli 20000 kilometrin korkeudella. Signaalin matka maahan on pitkä ja siksi myös erittäin altis häiriöille, joten signaalille voidaan laskea korjausta UHF-radiota tai GSM-modeemia hyödyntäen.

Kahden antennin järjestelmässä (Kuva 3) koneen ylävaunua ei tarvitse yleensä pyörittää sijainnin saamiseksi, koska toinen antenni suorittaa suuntalaskentaa. On kuitenkin mahdollista, että koneen ollessa katvealueella voidaan koneen ylävaunua joutua pyörittämään suuntiman laskemiseksi.



Kuva 3. GPS-antennien sijoitus kaivinkoneessa.

4.4 Koordinaattijärjestelmät ja -muunnokset

GNSS-järjestelmässä käytetään paikannukseen WGS84-koordinaattijärjestelmää, joka on geodeettinen järjestelmä. Sijainti määritetään ko. järjestelmässä leveys-, pituus- ja korkeuskoordinaatteihin perustuen. Leveysaste ilmaistaan kulmaerona päiväntasaajan suhteen. Pituusaste taas ilmaistaan kulmaerona nollameridiaaniin. Korkeus ilmaistaan etäisyytenä WGS-vertausellipsoidin pinnasta. Ellipsoidin voi ajatella maanpinnan yksinkertaistettuna pintana.

Esimerkiksi pintamalleissa työmailla käytetään karteesista koordinaatistoa. Tästä johtuu, että sijaintitiedot on käännettävä geodeettisesta järjestelmästä karteesiseen järjestelmään. Tuotaessa geodeettiset koordinaatit karteesiseen, geodeettiset koordinaatit projisoidaan ellipsoidilta tasolle.

Karteesisessa koordinaatistossa määrittäminen tehdään metrisenä kulmien sijaan. Karteesiset x(pohjoinen), y(itä) ja z(korkeus) -koordinaatit saadaan muuttamalla koordinaatit offsetparametrien ja valitun geoidin mukaan.

Oikean koordinaattijärjestelmän käyttäminen on ehdotonta, jos työ käyttää absoluuttisia koordinaatteja. Jos absoluuttisia koordinaatteja ei käytetä (esimerkiksi on vain määritetty korkeusero korkomerkkiin), käytössä voi olla alueelle sopiva koordinaattijärjestelmä. (Käyttöohje Xsite pro spi 14.0 2016.)

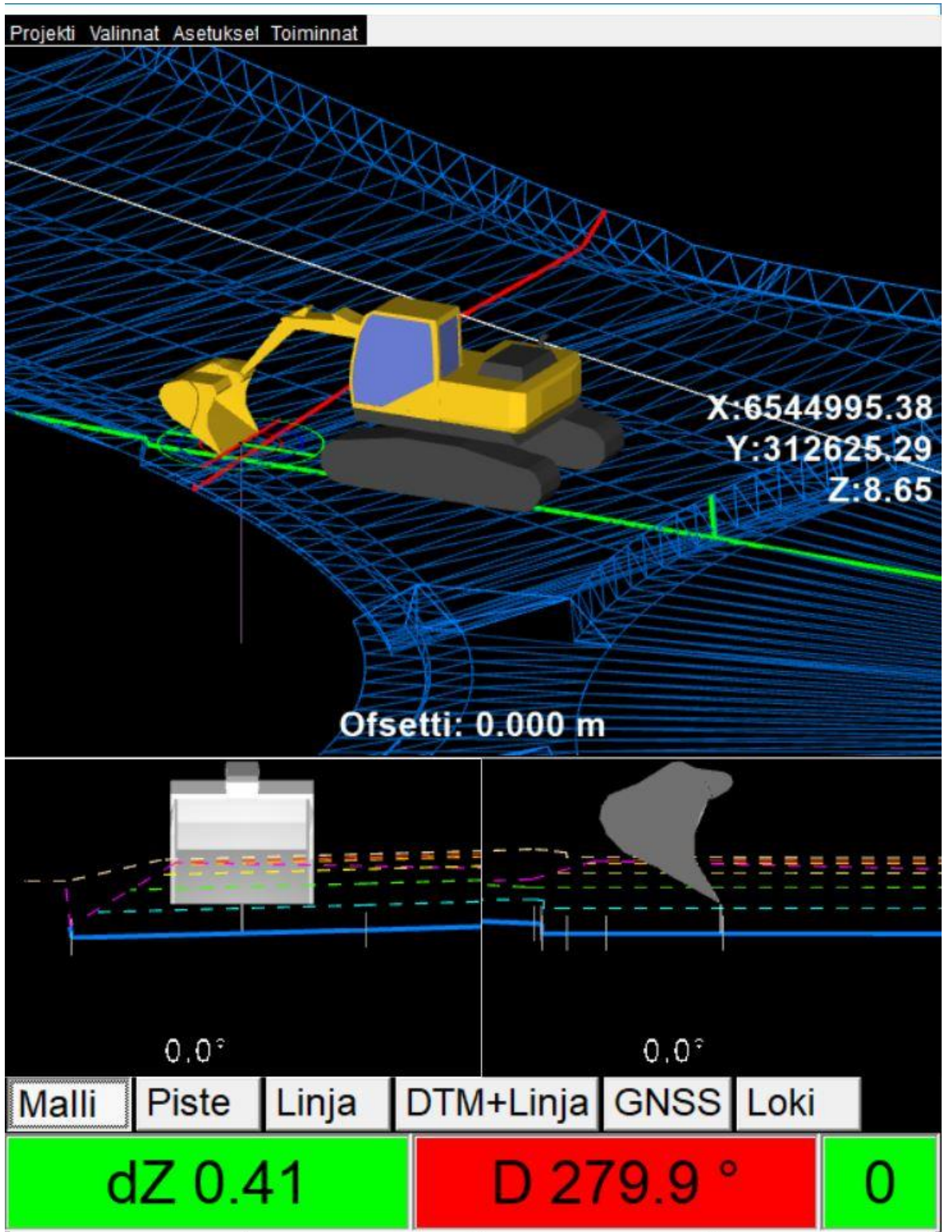
4.5 Kuljettajan näkymät

Novatron Oy:n laitteessa kuljettajan tilannenäkymä on selkeä ja yksinkertainen (kuvio 8). Kone esiintyy päänäkymässä alimman pintamallin pohjalla, ja luiskat ovat erotettavissa kuvasta selkeästi.

Alemmissä kahdessa kuvassa ovat kauhan kuvannat edestä ja sivulta päin. DZ-sarake kertoo etäisyyden leikkauspintaan, joka kuvassa on 0,41 metriä leikkausta-

son yläpuolella. Kuljettaja voi halutessaan vaihtaa kuvakulmia näytöllä, mikäli työkohteen näkeminen eri kulmasta helpottaa työskentelyä. (Jääskeläinen 2010, 42.)

Koneen kuljettaja voi myös valita mitattavan kohteen pintamallin, pisteen, linjan ja DTM-mallin ja valitun linjan mittaustoimintojen väliltä. Mahdollista on myös valita pinta, piste ja linja aktiiviseksi, jolloin ohjausjärjestelmä mittaa aina kuhunkin lähimpänä olevaan kohteeseen. Valintanäytöltä on vain valittava oikea välilehti halutun mittauksen tarkastelemiseksi.

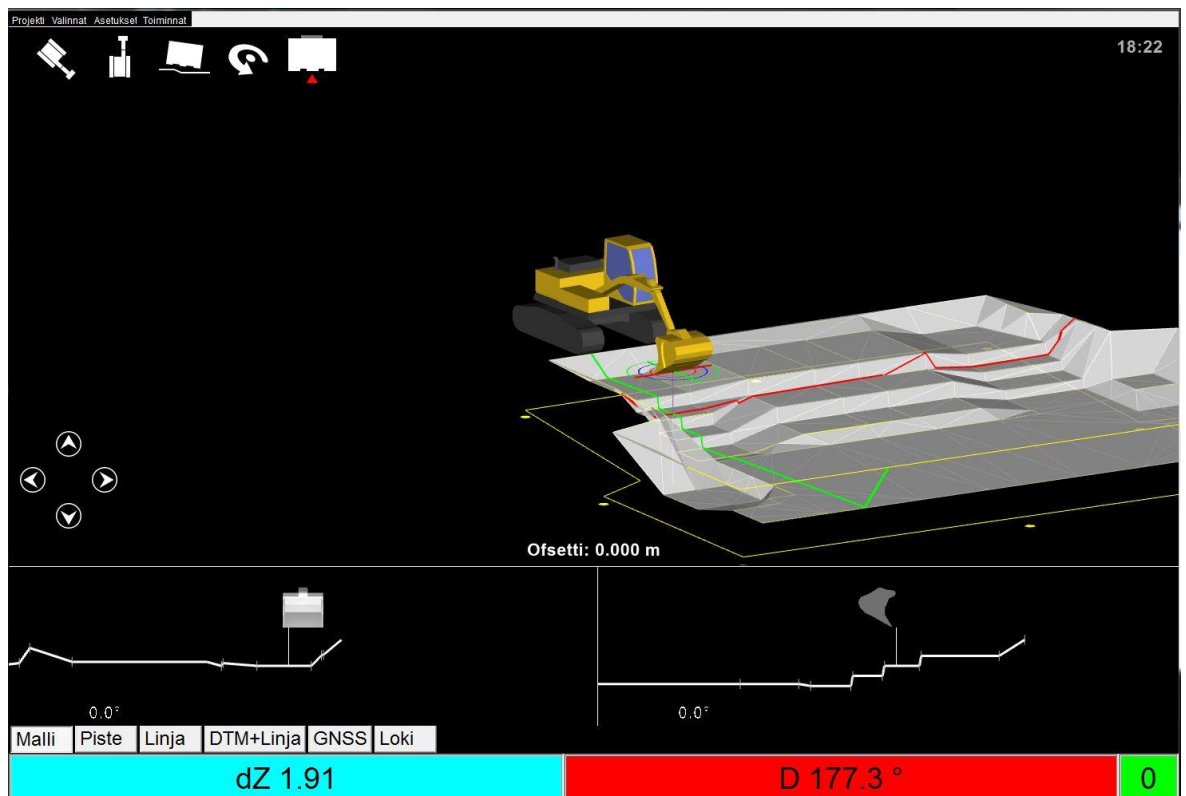


Kuvio 8. 3d-mallinäkökulma kuljettajalle koneenohjauksen näytöllä.

4.6 Ohjelman tekeminen koneenohjausta varten

Ohjelman tekeminen koneenohjaukseen on melko yksinkertainen prosessi. Suunnittelijan täytyy vain tehdä mahdollisimman yksinkertaistettu malli suunnitelmista. Mitä yksinkertaisempi työ on, sitä helpompi on koneen kuljettajan lukea ja ymmärtää mitattavia kohteita näytöllä. Koneenohjaus tukee monia eri tiedostomuotoja (liite 5).

Tämän työn kuvitteellisen työmaan koneenohjausohjelmisto (kuvio 9) on suunniteltu siten, että salaojien linjat ovat DXF-tiedostomuotoa. Linjat sisältävät kaltevuustiedon 1:100. Kaivot ovat DXF-tiedostomuotoisia pisteitä, jotka ovat salaojalinjojen alapuolella 0,3m, jossa kaivon pohja sijaitsee. Rakennuspohjan alimman kaivuutason kolmioitu pintamalli on 3D-tietoa sisältävää DXF-tiedostomuotoa. Tasotiedot anturoille, sekä luiskaukset kaivannon reunoilta on nähtävissä pintamallissa.



Kuvio 9. Suunniteltu työ koneenohjauksen näytöllä.

5 TAKYMETRIMITTAUKSET

5.1 Takymetri

Nykypäivän takymetri vastaa käyttötarkoitukseltaan ehkä parhaiten 1920-luvulla myytyä takymetrikipregeeliä (kiikariviivoitin). Laite on kartoitusmittauksiin valmistettu laite. Takymetri sanana on kreikan kielestä ja viittaa mittauskojeiden yhteydessä etäisyyden mittaukseen. 1980-luvulla yleistyivät takymetrit, joissa oli etäisyysmittari kiinteästi kulmanmittauskojeessa.

Elektro-optinen etäisyysmittaus suoritettiin alkuvaiheessa prismaa hyödyntäen, mutta 1980-luvulla aloitettiin myös prismattomien etäisyysmittareiden käyttö. Elektro-optiset etäisyysmittarit ovat kooltaan nykyään niin pieniä, että yhteen kaukoputkeen mahtuvat prismattomasti sekä prismaan mittaavat etäisyysmittarit. Alkuvaiheessa takymetrimittaukset tarvitsi kaksi henkilöä mittaamaan: kojeen takana mittaaja seurasi mittalukemia toisen mittaajan kuljettaessa prisma-auvaa.

1990-luvulla liikkeiden hallitsemisen automatisointi alkoi takymetreissä. Servomoottorit asennettiin ohjaamaan takymetrin akseleita. (Laurila. 2010, 223.)

Etäkäytettävästä takymetristä käytetään nimitystä robottitakymetri, joka on pitkälle automatisoitu laite. Robottitakymetrin avulla yksi mittaaja pystyy suorittamaan kartoitus- ja merkitsemismittauksen edellyttämät työt. Joissain nykypäivän takymetreissä on digitaalinen kamera, josta välittyy kuvaa maastotietokoneelle, ja kuvasta voidaan ohjata laitetta osoittamaan haluttuun kohteeseen. Markkinoilla on myös niin sanottuja hybriditakymetrejä, joihin on liitetty laserkeilain.

5.2 Takymetrin orientointi koordinaatistoon

Orientointi olemassa olevaan koordinaattijärjestelmään on välttämätöntä takymetrimittauksissa. Orientoinnissa saadaan määritettyä kojeelle asemapiste sekä asemapisteen korkeus koordinaatistossa. Maastotietokoneen muistiin tallennetaan työmaan karteesisessa koordinaatistossa olevat pisteet, joilla takymetri saadaan orientoitua.

Menetelmiä takymetrin orientointiin on kaksi: vapaa tai tunnettu asemapistä. Käytetyin menetelmä on vapaa asemapistä, jossa takymetri asetetaan minne tahansa työn suorittamisen edellyttämälle paikalle. Sen täytyy kuitenkin mahdollistaa vähintään kahden tunnetun pisteen havaitseminen ja osoittaa lisää tunnettuja pisteitä kahden sijaan, koska takymetri laskee keskiarvoja pisteiden välillä ja kojeen paikkatieto koordinaatistossa paranee moninkertaisesti. Tunnetulle asemapistelle pystytettäessä kojeelle osoitetaan liitospiste sekä määritetään asemapisteen korkeus esimerkiksi tiedossa olevasta korkomerkestä.

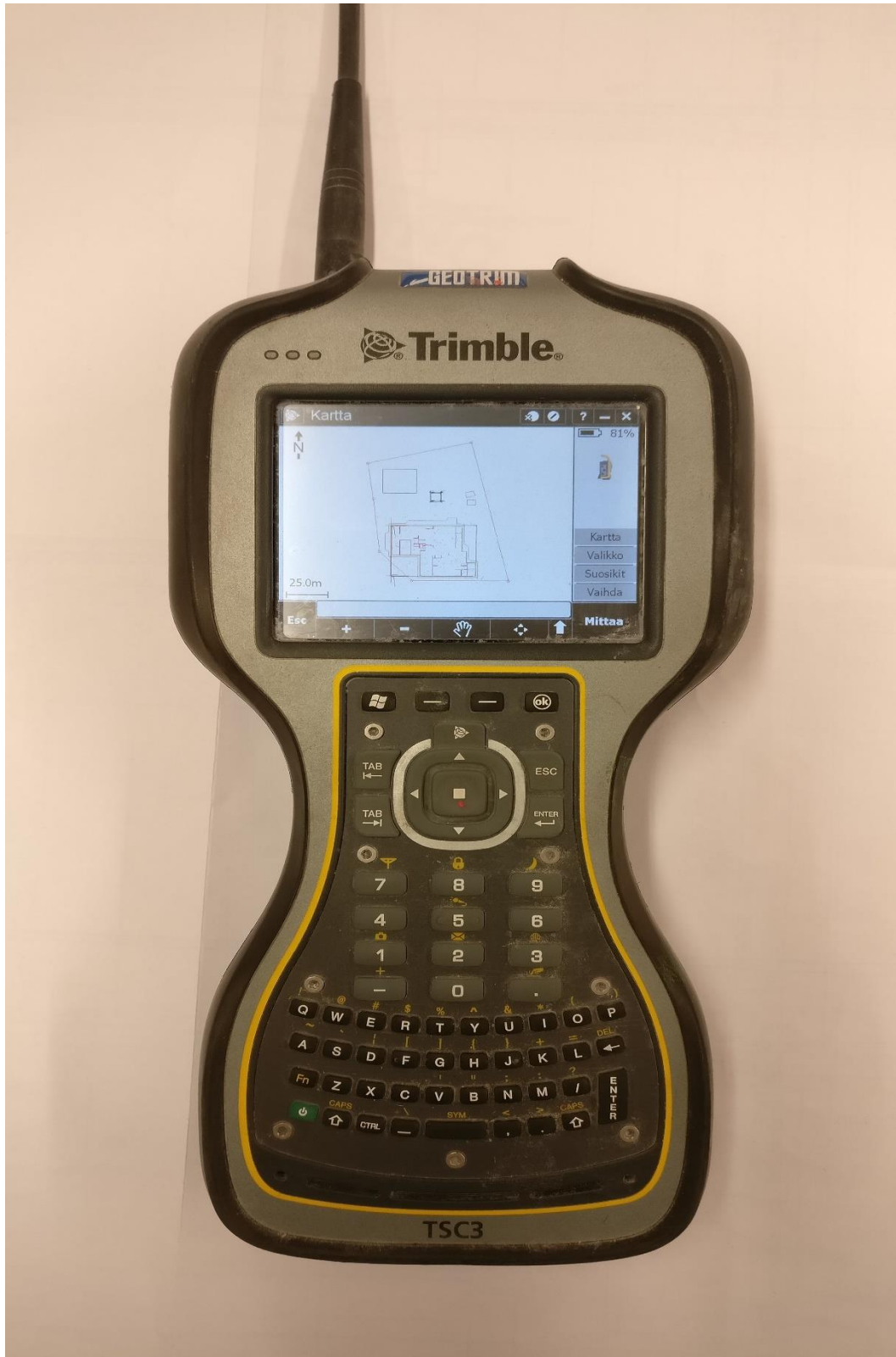
5.3 Mittaaminen koordinaatistossa

Mittaajasta riippuen voidaan mitata valtakunnallisessa koordinaatistossa tai kääntää työmaa niin sanottuun 100, 500 -koordinaatistoon. Valtakunnallisessa koordinaatistossa mitattaessa työmaata ei käännetä suorakulmaiseen asentoon, vaan se pidetään niin, että X-suunta on pohjoinen ja Y-suunta on itäinen. Tietokoneella työtä piirtäessä takymetrin maastotietokoneelle mittaushenkilö piirtää suunnitelmista kartan tietokoneella suorakulmaisessa asennossa, ja kartan valmistuttua kääntää sen valtakunnalliseen koordinaatistoon ja siirtää kartan maastotietokoneelle. 100, 500 -koordinaatistossa mitattaessa mittaushenkilö kääntää Helmertmuunnoksella rakennustyömaan suorakulmaiseen asentoon ja valitsee jonkun päälinjan ja antaa sille arvot $x=100$ ja $y=500$ (esimerkiksi rakennuksen ulkonurkalle tai moduulilinjalle). Myös työmaan tunnetut pisteet on Helmertoinnissa oltava mukana. z-koordinaatit ovat suunnitelmissa esitetyt korkeudet yleensä N-2000 korkeusjärjestelmän mukaan.

5.4 Kartalla mittaaminen

Työssä käytetty Trimblen tsc3-maastotietokone on varustettu Windows-pohjaisella käyttöjärjestelmällä, joka mahdollistaa vektorikarttojen teon suunnitelmista. Viivamittaus selkeyttää ja tekee työmaasta ymmärrettävän maastotietokoneen näytöllä (kuva 4). Ennen Windows-aikakautta mittaukset suoritettiin pistetiedoilla. Mittaushenkilöllä oli oltava pistetiedoista numeroitu lista mukana työmaalla. Listasta selvi-

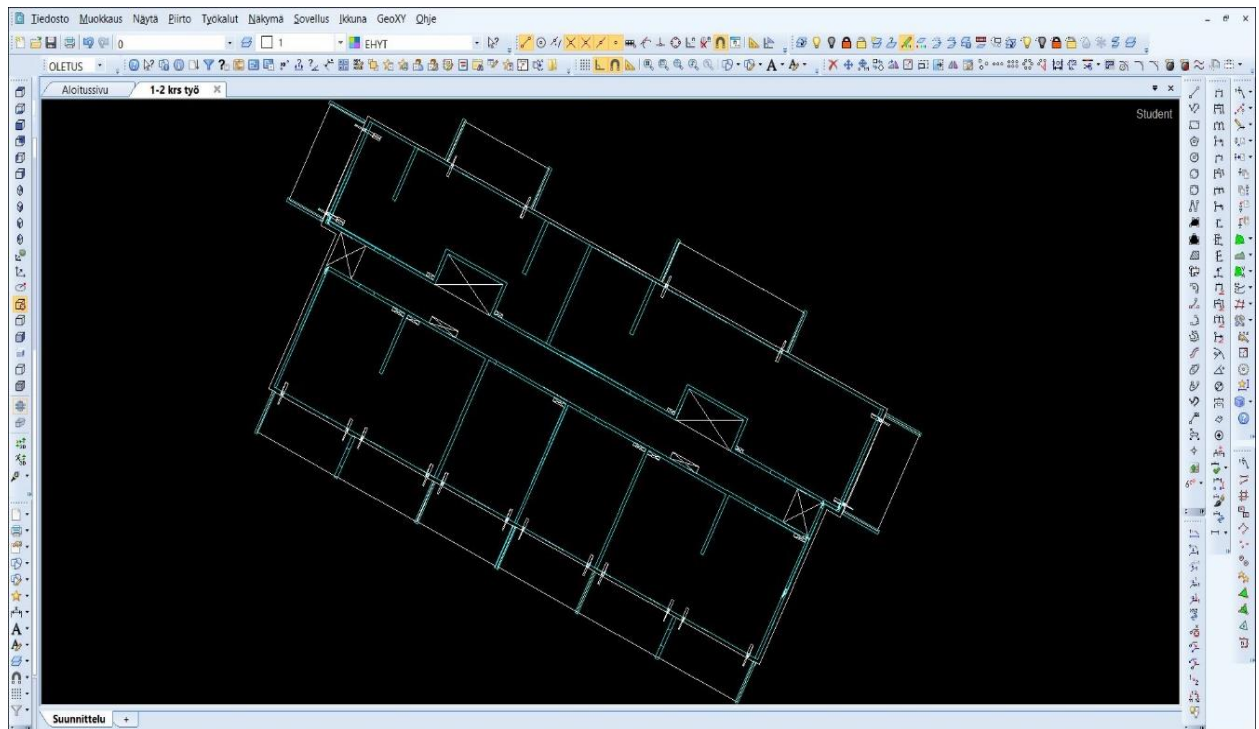
si pisteen numerolla mitattava paikka, joka oli hankalaa. Myös virheen mahdollisuus oli suurempi kuin nykypäivänä.



Kuva 4. Trimblen tsc3 maastotietokone.

5.5 Työn tekeminen maastotietokoneelle

Maastotietokoneelle on kannattavaa tehdä viivakuvia eri työvaiheille (kuvio 10). Kuvassa on monen eri työvaiheen viivatiedot. Kaikki paikallavaluseinät, parvekekiinnitinrautojen sijainnit, parvekepielien linjat ja läpivientivaraukset ovat kuvassa. Kuvasta on helppoa hahmottaa rakennuksen muoto ja mitattavien kohteiden linjat. Maastotietokoneelle siirrettävän työn viivoja on hyvä tehdä eri väreillä myös työn selkeyttämiseksi ja viivavalinnan helpottamiseksi näytöltä.



Kuvio 10. Valmis työ mittalaitteelle CADS GeoXY -ohjelmassa.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Työn suurin ongelma oli radio-ohjattavan kopterin rakentaminen ja kuinka kaukokartoitus toimii käytännössä. Tietoa rakentamiseen löytyy todella vähän ja koneeseen oikeiden osien etsiminen ympäri maailmaa ja niiden odottaminen vei turhauttavan paljon aikaa. Työtä varten onnistuttiin kuitenkin tuottamaan laadukas maanpohjakartoitus radio-ohjattavalla kopterilla.

Haasteita työssä aiheuttivat myös eri formaattimuodot. Ohjelmavalmistajien omat formaattimuodot, joita on mahdollista käyttää vain kyseisten valmistajien ohjelmisissa. Tämä määrääkin pitkälti käytettävät ohjelmat. Infra-alalla onkin yhteishanke, jossa käytetään kansainväliseen LandXML-formaattiin perustuvan inframodelformaattia, jonka tarkoituksena on helpottaa avointa tiedonsiirtoa suunnitteluohjelmistojen välillä. Liikennevirasto ja isot kaupungit ovatkin alkaneet vaatia avoimen tiedonsiirron käyttöä hankkeissaan.

Tämän työn lukemisesta on varmasti hyötyä maanrakennus- ja rakennushankkeissa toimiville ammattilaisille. Myös alasta kiinnostuneille ja alan opiskelijoille on tästä opinnäytetyöstä hyötyä, koska työssä on paljon kuvia tekstin lisäksi ja aihe on ajankohtainen rakennusteollisuudessa.

Työssä olisi ollut tarpeen käsitellä enemmän koordinaattijärjestelmiä, mutta aiheesta olisi tullut aineistoa jo toisen opinnäytetyön verran. Koordinaattijärjestelmiä olisikin hyvä jatkossa tutkia enemmän.

LÄHTEET

- Haggren, H. 2003. Aalto-opetus. Maa-57.30 luentokalvot. Luento 9.2.2003. Helsinki
- Jääskeläinen, R. 2010. Maanrakennuksen ja louhinnan perusteet. Tampere: Tammertekniikka.
- Käyttöohje Xsite pro spi 14.0. 2016. Novatron koneenohjausjärjestelmät. Pirkkala: Novatron.
- Laurila, P. 2010. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Jyväskylä: Kopijyvä.
- L 18.8.2000/755. Aluevalvontalaki.
- L 7.11.2014/864. Ilmailulaki.
- Mallinnusohje 3D-Win – Xsite Pro v1.1. 2016. Novatron koneenohjausjärjestelmät. Pirkkala: Novatron.
- Novatron. 2018. Historia. [Verkkosivu]. Pirkkala: Novatron. [Viitattu 7.1.2018]. Saatavana: <https://www.novatron.fi/yritys/#historia>
- O'Donnel, S. 2017. A short history of unmanned aerial vehicles. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 6.1.2018]. Saatavana: <https://consortiq.com/media-centre/blog/short-history-unmanned-aerial-vehicles-uavs>
- Salmenperä, H. 2004. Fotogrammetria. TTK julkaisuja vol4. Tampere.
- Trafi. 2017. Miehittämätön ilmailu. [Verkkosivu]. Helsinki: Liikenteen turvallisuusvirasto. [Viitattu 8.1.2018]. Saatavana: https://www.trafi.fi/ilmailu/miehittamaton_ilmailu

LIITTEET

Liite 1. Raportti.

Liite 2. Poikkileikkausmenetelmä 3D-Win.

Liite 3. Takymetrilaitteisto.

Liite 4. Koneenohjauksen osat.

Liite 5. Koneenohjauksen tuetut tiedostomuodot.

Liite 1. Raportti.

Agisoft PhotoScan

Processing Report
28 January 2018



Survey Data

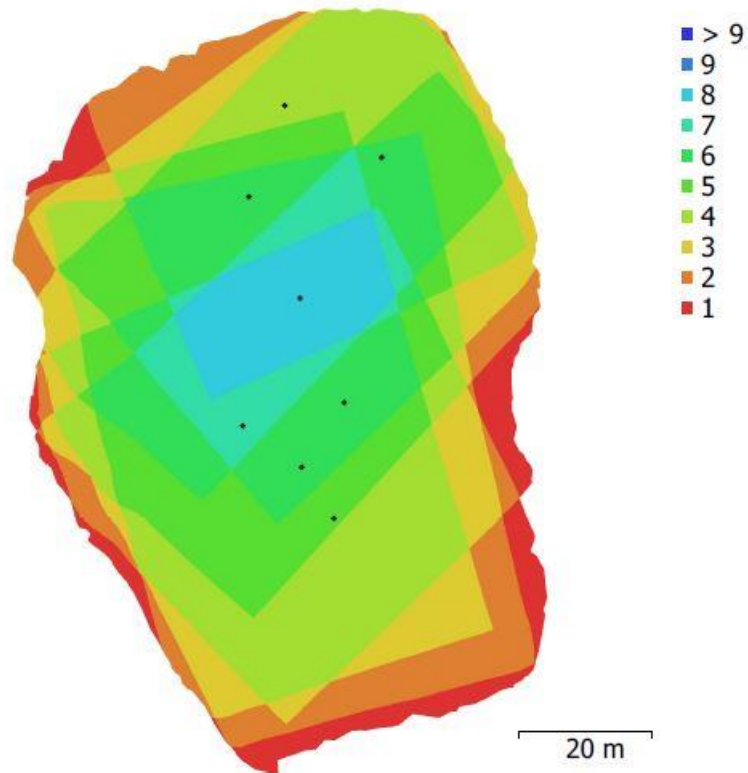


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	8	Camera stations:	8
Flying altitude:	59.6 m	Tie points:	10,904
Ground resolution:	1.36 cm/pix	Projections:	32,511
Coverage area:	6.9e+03 m ²	Reprojection error:	0.919 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
ILCE-6000 (16mm)	6000 x 4000	16 mm	4 x 4 μ m	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

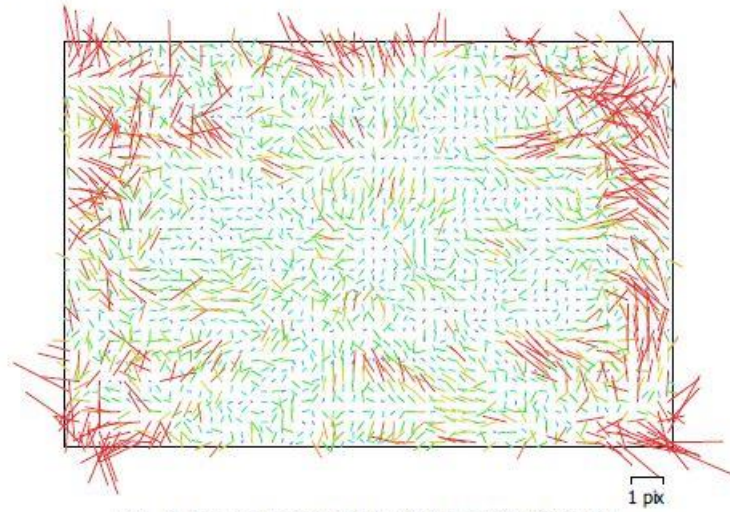


Fig. 2. Image residuals for ILCE-6000 (16mm).

ILCE-6000 (16mm)

8 images

Type
Frame

Resolution
6000 x 4000

Focal Length
16 mm

Pixel Size
4 x 4 μm

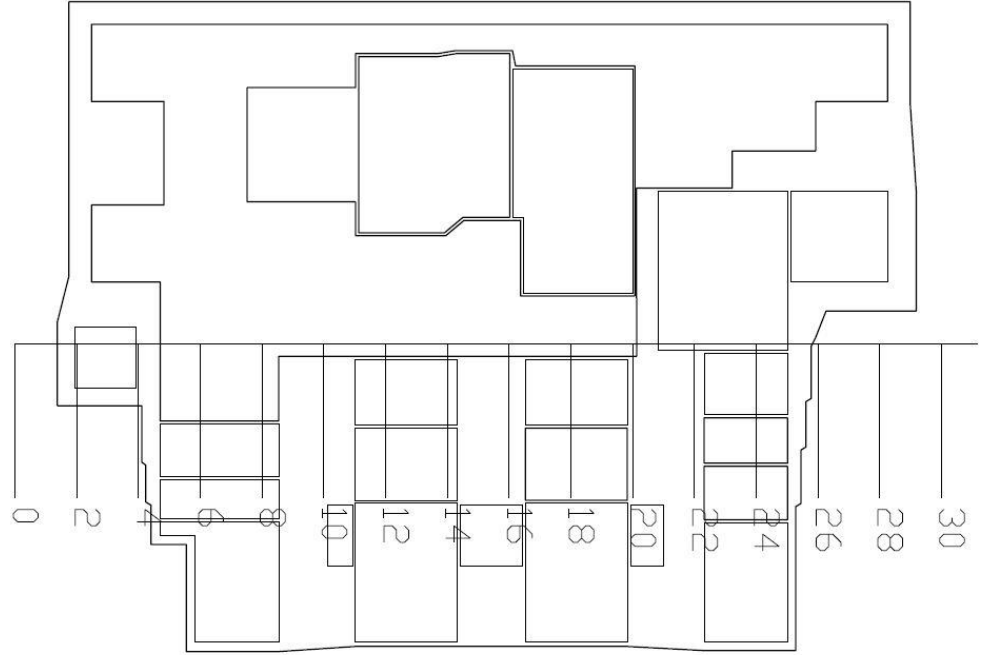
	Value	Error	B1	B2	K1	K2	P1	P2
F	4000							
Cx	-13.7615							
Cy	-15.6384							
B1	0.390509	0.052	1.00	0.07	-0.14	0.07	-0.05	0.12
B2	-1.22012	0.057		1.00	-0.16	0.03	-0.23	0.14
K1	-0.0635514	0.00036			1.00	-0.30	0.48	-0.37
K2	0.0384856	0.00013				1.00	-0.02	0.03
P1	0.00109473	1.9e-05					1.00	-0.20
P2	-0.00634583	1.2e-05						1.00

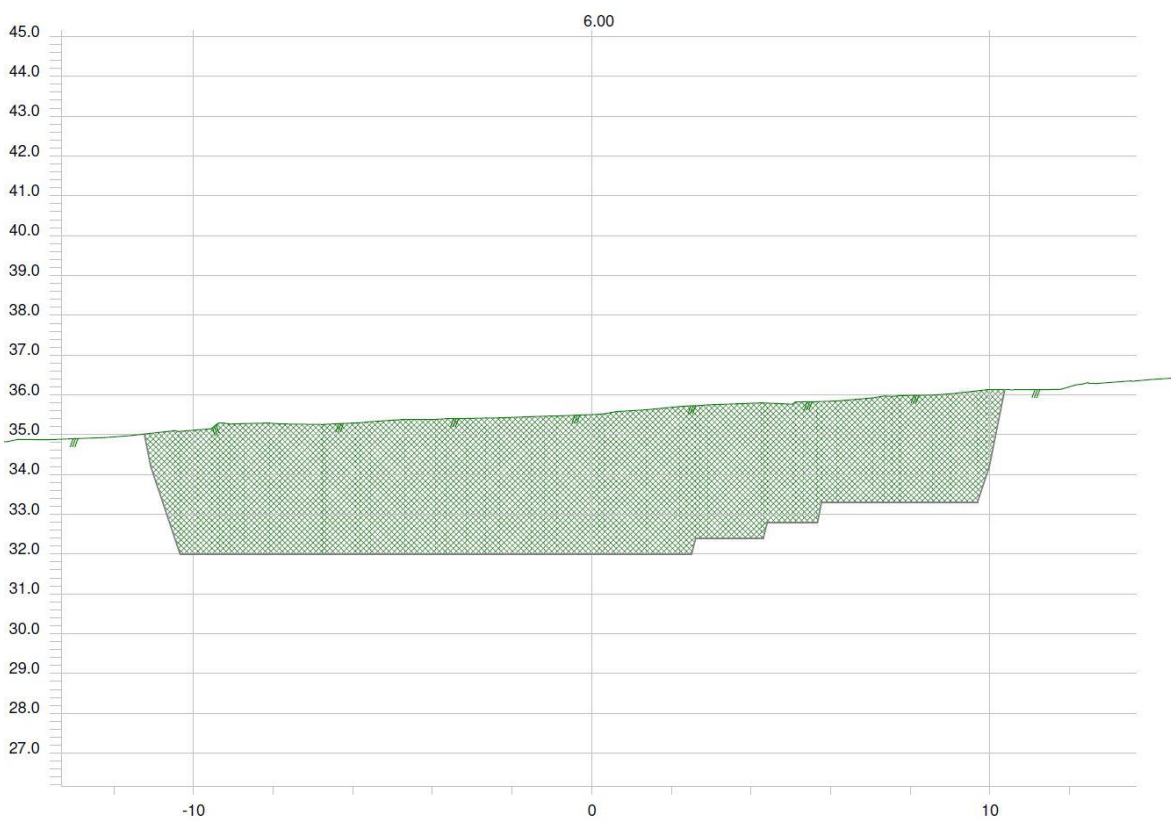
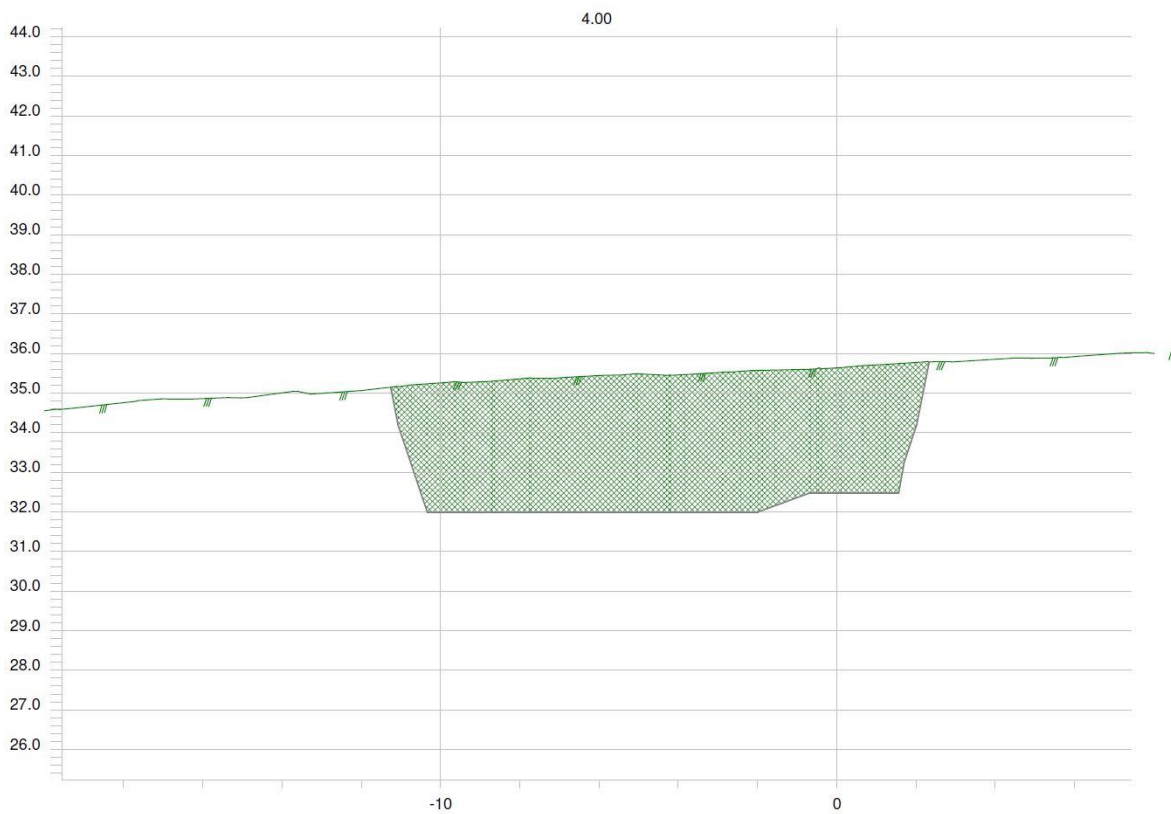
Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

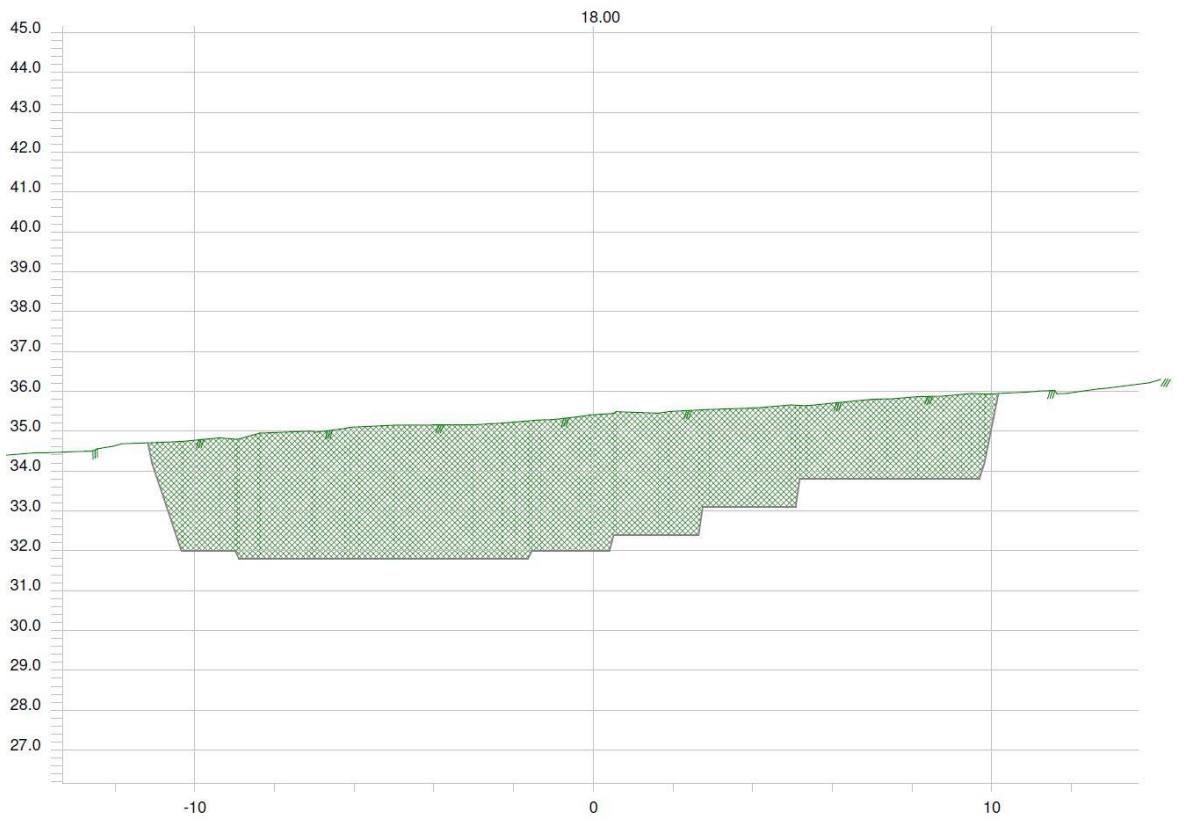
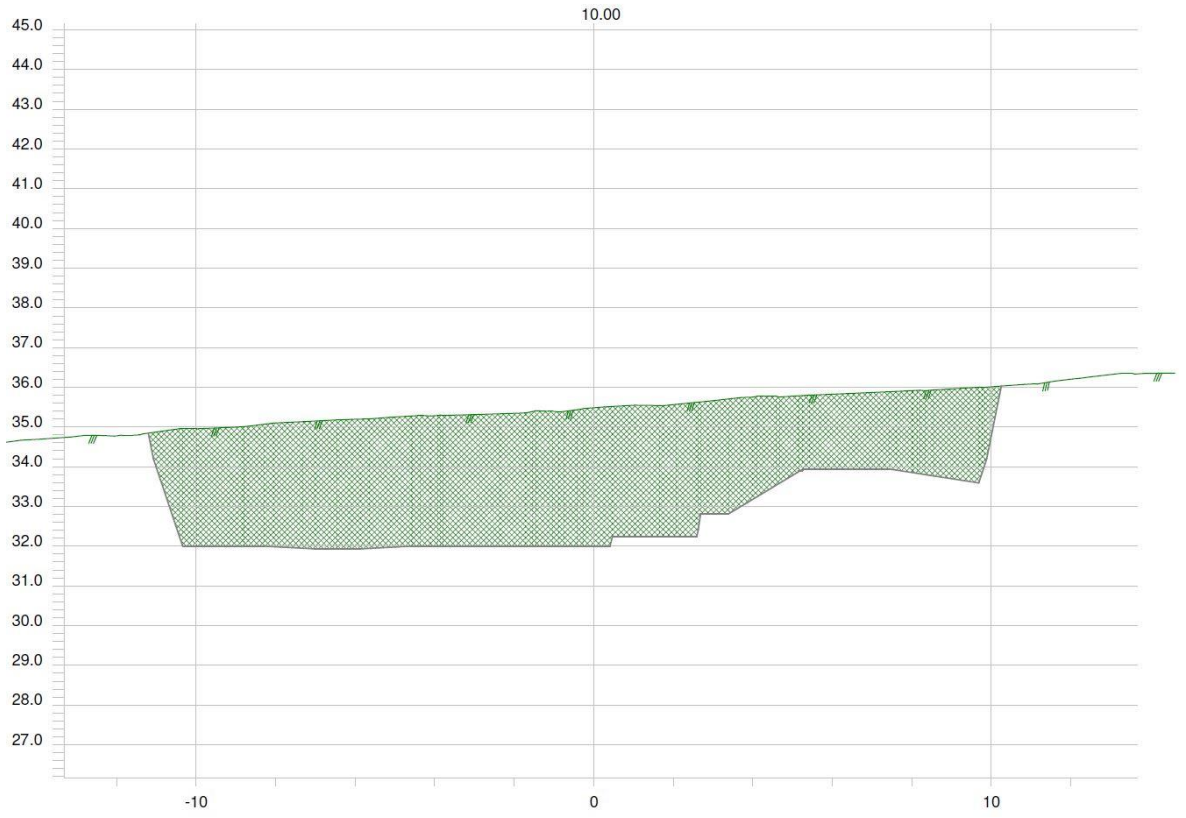
Processing Parameters

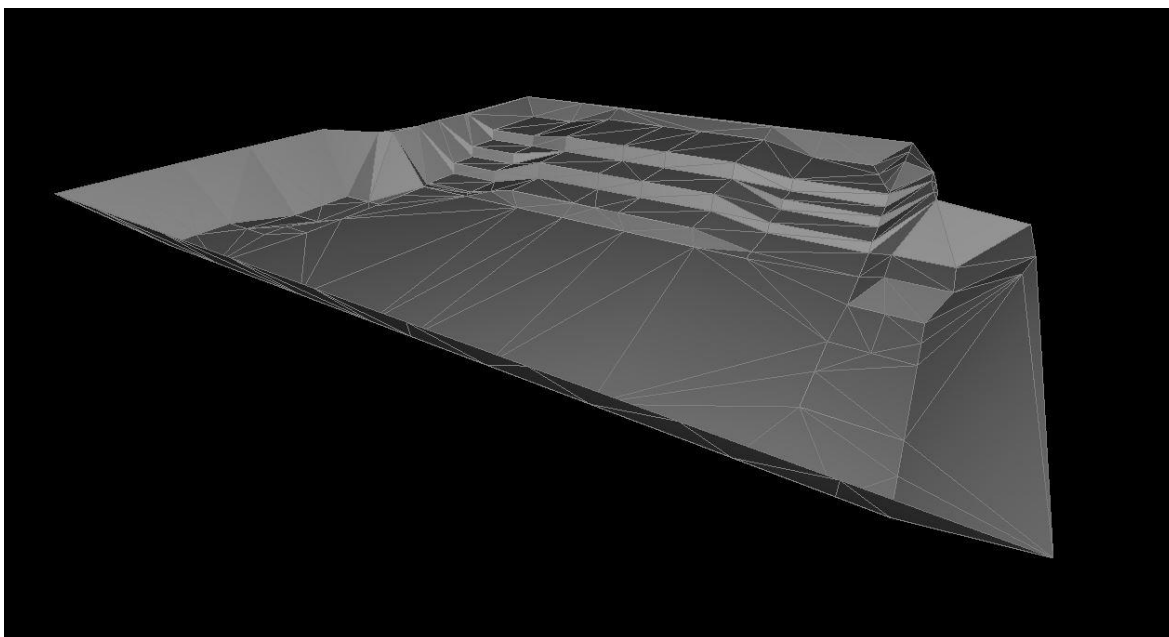
General	
Cameras	8
Aligned cameras	8
Shapes	
Polygons	62
Coordinate system	ETRS89 / GK23FIN (EPSG::3877)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
Point Cloud	
Points	10,904 of 11,316
RMS reprojection error	0.3061 (0.919349 pix)
Max reprojection error	1.08817 (6.85949 pix)
Mean key point size	3.14115 pix
Effective overlap	3.00884
Alignment parameters	
Accuracy	Highest
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Yes
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Matching time	3 minutes 58 seconds
Optimization parameters	
Parameters	b1, b2, k1, k2, p1, p2
Fit rolling shutter	No
Optimization time	0 seconds
Model	
Faces	10,787
Vertices	5,593
Reconstruction parameters	
Surface type	Arbitrary
Source data	Sparse
Interpolation	Enabled
Face count	90,000
Processing time	2 seconds
Orthomosaic	
Size	5,387 x 7,702
Coordinate system	ETRS89 / GK23FIN (EPSG::3877)
Channels	3, uint8
Reconstruction parameters	
Blending mode	Mosaic
Surface	Mesh
Enable hole filling	Yes
Processing time	5 minutes 50 seconds
Software	
Version	1.4.0 build 5650
Platform	Windows 64

Liite 2. Poikkileikkausmenetelmä 3D-Win.









Liite 3. Takymetrilaitteisto.

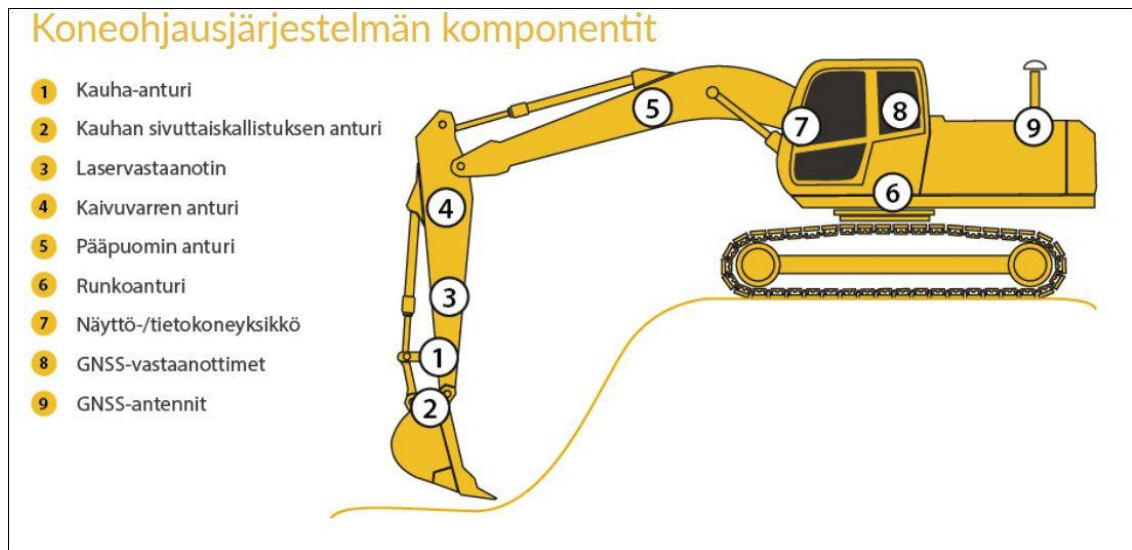


Aktiiviprisma ja maastotietokone



Trimble s-5 takymetri

Liite 4. Koneenohjauksen osat.



Liite 5. Koneenohjauksen tuetut tiedostomuodot.

Geometriat

LandXML <Alignment> (IM3)

Kolmioverkot

LandXML <Surface> (IM3)

DXF (→2015)

Taiteviivamallit (kolmioituu järjestelmässä)

LandXML <RR_Stringlinelayer>

LandXML <IM_Stringlinelayer> (IM3)

Taiteviivat

LandXML <Alignment> (IM3)

LandXML <SourceData><Breaklines> (IM3)

LandXML <Plantfeatures> (IM3)

DXF (→ 2015)

GT

KOF

PXY

Pisteet

LandXML <Cgpoints>

DXF (→ 2015)

GT

KOF

PXY

Verkostot

LandXML <PipeNetworks> (IM3)

(Mallinnusohje 3D-Win 2016.)