

UAV-MALLIN HYÖDYNTÄMINEN MAASTOKARTOITUK- SISSA

Ramboll Finland Oy

Varho Leena

Opinnäytetyö
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2021

Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Leena Varho	Vuosi	2021
Ohjaaja(t)	Teuvo Heimonen		
Toimeksiantaja	Ramboll Finland Oy		
Työn nimi	UAV-mallin hyödyntäminen maastokartoituksissa		
Sivu- ja liitesivumäärä	34		

Opinnäytetyössä tarkastellaan, miten UAV-mallia voi hyödyntää maastomallin tekemisessä tiehankkeissa ja mitä työvaiheita siihen kuuluu. Työn tilaaja on työnantaja Ramboll Finland Oy. Referenssityönä käytetään keväällä 2021 mitattua Myllypuron eritasoliittymän maastomallia.

Opinnäytetyön aineisto on koottu eri mittaustavoin tuotetusta datasta. UAV-datasta laskettua maastomallia on täydennetty takymetrimittauksilla niiltä osin kuin fotogrammisen mallin tarkkuus ei ole riittävä. Kuvausdata mitattiin Phantom 4 Pro V2.0 -kopterilla, takymetrimittaukset mitattiin Trimblen VX -takymetreilla ja data käsiteltiin Trimble Business center-, 3D-win-, Autocad-, Agisoft- ja Microstation TerraScan -ohjelmistoilla. Kartoitusaaineistoja ja pistepilviä voi käsitellä monilla eri ohjelmistoilla, ja tässä työssä on esitetty yksi tapa koostaa tarvittava aineisto. Työssä on kerrottu eri työvaiheista kronologisessa järjestyksessä.

Opinnäytetyön tuloksena pohditaan fotogrammetrisen mittausdatan käytettävyyttä eri mittauskohteissa ja huomioon otettavia seikkoja suunniteltaessa dronen käyttöä projekteissa. Fotogrammetrinen mittaus on kustannustehokas ja nopea mittaustapa. Liikenneviraston mittausohje asettaa kuitenkin rajoituksia sen käyttöön maastomallin teossa. Työssä käy ilmi, että joidenkin maastokohteiden mittaus fotogrammetrisesti ei tuota tarpeeksi tarkkaa mittausdataa. Työn lopussa pohditaan, mitä eri seikkoja tulee ottaa huomioon drone-projekteja suunniteltaessa.

Study Programme in Land
Surveying Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Leena Varho	Year	2021
Supervisor	Teuvo Heimonen		
Commissioned by	Ramboll Finland Oy		
Subject of thesis	Utilizing UAV-model in Terrain Surveying		
Number of pages	34		

The aim of this thesis was to study the use of UAV-model in making a terrain model for road projects and what work stages these kinds of projects involve. The commissioner of this study was Ramboll Finland. The surveying data of Myllypuro interchange project was used as reference.

Materia for the study was gathered up from different surveying styles. The UAV-data was complemented with total station measurements in the areas that the photogrammetric model accuracy is not sufficient. The copter data was measured with a Phantom 4 Pro V2.0-copter. The total station data was measured with Trimble VX. The data was edited with Trimble business center-software, 3D-win-software, Autocad, Agisoft and Microstation TerraScan- software. There are many software possibilities for editing surveying and point cloud data. In this thesis one way of joining the data together is presented. The work stages are presented in chronological order.

The usability of photogrammetric surveying for different objects is discussed in this thesis. Also, the things that need to be considered when using a drone in projects, is discussed. Photogrammetric surveying is a cost-effective and fast way for obtaining surveying data. Finnish Transport Infrastructure Agency has its own guidelines for surveying data. These guidelines limit the use of UAV data to some objects. The conclusion of this study indicate that some objects are not surveyed accurately enough in photogrammetric surveying.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 FOTOGRAMMETRISEN MITTAUKSEN KÄYTTÖ TIEHANKKEISSA	8
2.1 Ramboll Finland Oy	8
2.2 Fotogrammetrisen mittauksen periaate.....	8
2.3 Drone-mittauksiin liittyvä lainsäädäntö.....	9
2.4 Liikenneviraston ohjeistukset	10
2.4.1 Mittausperustan tarkkuusvaatimukset ja ohjeistus	10
2.4.2 Maastomallimittauksen ohjeistus ja tarkkuusvaatimukset	11
2.4.3 Tien rakennussuunnitelman ohjeistus	12
3 MYLLYPURON ERITASOLIITTYMÄN RAKENNUSSUUNNITELMA	14
3.1 Referenssityön esittely	14
3.2 Mittaustyön vaiheet.....	16
3.2.1 Tarkkavaaitus	16
3.2.2 Runkoverkon mittaus.....	17
3.2.3 Drone-keilaus	19
3.2.4 Maastomittaukset	24
3.3 Mittausdatan käsittely ja yhdistäminen.....	24
3.4 Aineiston vertailu.....	29
4 POHDINTA	32
LÄHTEET	34

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

<i>Drone</i>	Yleisnimitys kauko-ohjattavalle lennokille
<i>EASA</i>	European Union Aviation Safety Agency: Euroopan unionin lentoturvallisuusvirasto
<i>ECW-formaatti</i>	Formaatti optimoitu ilmakuvia ja satelliittikuvia varten. ECW-muoto pakkaa tehokkaasti suuret kuvat säilyttäen visuaalisen laadun
<i>Fotogrammetria</i>	Valokuvista suoritettavaa kohteiden kolmiulotteista mitausta
<i>Georeferointi</i>	Mallin tai mitta-aineiston sitominen tunnettuun koordinaatistoon
<i>GSD</i>	Ground sampling distance: kuvapikselin maastoresoluutio
<i>GNSS</i>	Satelliittipaikannusjärjestelmä
<i>Kaukokartoitus</i>	Kohteen ominaisuuksien mittaaminen sähkömagneettisten aaltojen avulla ilman fyysistä kosketusta kohteeseen
<i>Maastomalli</i>	Numeerinen tiedosto, jolla kuvataan maaston sijaintia ja muotoa kolmiulotteisesti
<i>Pistepilvi</i>	Kokoelma kolmiulotteisia pisteitä, jotka tuotetaan esimerkiksi laserkeilaimella

<i>RGB</i>	Red_Green_Blue: Numeerinen arvo värille.
<i>Takymetri</i>	Maastomittauksessa käytettävä mittauslaite, jolla kulman- ja etäisyydenmittauksen avulla määritetään kohteelle kolmiulotteiset koordinaatit
<i>UAV</i>	Unmanned aerial vehicle: (lentävä) miehittämätön ilma-alus, drone
<i>UAS</i>	Unmanned aerial system, drone, johon on liitetty esimerkiksi laserkeilain tai muu tutkimuskalusto, kuten lämpökamera

1 JOHDANTO

Drone-kopterin avulla tehtävä fotogrammetrinen mittaus (UAV-kuvaus) on yleistynyt 2000-luvulla nopeasti. UAV-kuvaus mahdollistaa maastotiedon keruun huomattavasti nopeammin kuin maantasolla tehtävä mittaus.

Tässä työssä tarkastellaan, kuinka hyvin UAV-mittauksella saatua pistepilveä voi käyttää maastomallin tekemisessä Liikenneviraston Tie- ja ratahankkeiden maastotietojen tarkkuusvaatimusten mukaisesti. Referenssityönä käytetään Myllypuron eritasoliittymän rakennussuunnitelmaan tehtävää lähtötietojen mittausta.

UAV-mittauksissa parhaan mittaustuloksen saaminen riippuu muun muassa mitausolosuhteista, lähtöpisteiden laadusta sekä kuvien laadusta ja tarkkuudesta. Fotogrammetrista mittausta ei voi käyttää kaikissa maastomallikohteiden mittauksissa, joten täydentävää mittausta on tehtävä takymetrimittauksina. Miten maastomalliprojektin, jossa halutaan käyttää drone-mitattua maastomallia, voi toteuttaa, ja mitä työvaiheita se sisältää?

2 FOTOGRAMMETRISEN MITTAUKSEN KÄYTTÖ TIEHANKKEISSA

2.1 Ramboll Finland Oy

Ramboll on suunnittelu- ja konsultointiyritys, joka perustettiin Tanskassa vuonna 1945. Suomessa Rambollilla työskentelee noin 2 500 henkilöä 28 toimistossa ympäri Suomea. Toimialoja ovat kiinteistöt ja rakentaminen, infra ja liikenne, kaupunkisuunnittelu, vesi, ympäristö ja terveys sekä johdon konsultointi. Yhtiön liikevaihto Suomessa oli vuonna 2020 240 miljoonaa euroa. (Ramboll Finland 2021.)

2.2 Fotogrammetrisen mittauksen periaate

Fotogrammetrisessä mittauksessa muunnetaan kaksiulotteiset valokuvat kolmiulotteiseksi malliksi. Fotogrammetria hyödyntää kolmiomittausta määrittämään pisteen sijainnit kaikilla kolmella ulottuvuudella (X , Y , Z). Fotogrammetristen laskentaohjelmien algoritmien parhaan toimivuuden kannalta on tärkeää, että kuvia on riittävästi ja niiden keskinäinen kuvapeitto olisi noin 60–80 prosenttia. Aluemaisten kohteiden mallinnuksessa kuvaus suoritetaan kuvausjonoittain järjestelmällisesti. Kuvien tulee olla selkeäkontrastisia, teräviä, ja valaistuksen tulee olla mahdollisimman tasainen.

Fotogrammetrisellä 3D-mallinnuksella on mahdollista luoda näyttäviä ja tarkkoja 3D-malleja. Haasteita laskennalle aiheuttavat muun muassa läpinäkyvät, heijastavat ja kiiltävät pinnat, huonosti valaistut kohteet, puutteellinen kuvien välinen peitto sekä piiloon jäävät kohteet. Mallin lopulliseen tarkkuuteen vaikuttavat myös muun muassa kameran polttoväli, optiikan laatu ja piirtovirheet, kuvakennon herkkyys ja fyysinen koko ja tyyppi, valovoima, tarkennus, kuvausolosuhteet ja kuvattavan kohteen lukuisat omanaisuudet. Fotogrammetrisen mallin sijainti- tai mittatarkkuutta arvioidaan usein suhteessa kuvapikselikokoon.

Ennen kuvauksen suoritusta tehdään kuvaussuunnitelma. Suunnitelmassa esitetään työn tavoite, referenssipisteiden sijoittelu- ja mittaussuunnitelma, lentosuunnitelma ja mahdolliset täydentävät maakuvaukset, käytettävä koordinaatisto ja

runkopisteistö. Myös työturvallisuuteen liittyvät asiat tulee käsitellä suunnitelmassa. (Rakennustieto 2018.)

2.3 Drone-mittauksiin liittyvä lainsäädäntö

Dronejen lennätystä koskeva lainsäädäntö on muutostilassa. Tällä hetkellä on meneillään siirtymäkausi (1.1.2021–1.1.2023), jonka aikana kansallisesta lainsäädännöstä siirrytään EU-lainsäädännön piiriin. Tässä työssä tarkastellaan vain tämänhetkistä lainsäädäntöä.

EU:n alueella suoritettavan drone-lennätyksen yhtenäistävä asetus on tullut voimaan 31.12.2020. Sen mukaan droneja käyttävien tulee rekisteröityä, perehtyä dronen lennätukseen ja pääsääntöisesti suorittaa koe. Koe on Traficomien järjestämä monivalintakoe, joka on läpäistynä voimassa toistaiseksi. Dronetoiminta jaetaan kolmeen kategoriaan: avoin, erityinen ja sertifioitu. Kategoriat luokitellaan dronen painon ja lentoalueen perusteella. Avoin luokka on jaettu alakategorioihin alla olevan taulukon mukaisesti.

Dronejen rajoituksia Avoimessa kategoriassa tulevan EU-dronelain siirtymäkaudella 1.1.2021 – 1.1.2023

A1	A2	A3
Dronen maksimipaino 500 g	Dronen paino 500 g - 2 kg	Dronen paino 500g - 25 kg
Lentäminen sallittu myös tiheästi asutuilla alueilla satunnaisten ihmisten, mutta ei ihmisjoukkojen päällä. UAS-ilmatilavyöhykkeet tulee huomioida	Lennot sallittu tiheästi asutuilla alueilla turvallisella etäisyydellä ihmisistä. UAS-ilmatilavyöhykkeet tulee huomioida	Lennot harvaan asutuilla alueilla kaukana ihmisistä ja asutuksesta. UAS-ilmatilavyöhykkeet tulee huomioida
Ei koulutusvaatimusta	Verkkoteoriakoe + lisäteoriakoe	Verkkoteoriakoe

Kuva 1. Avoin kategorian luokittelutaulukko siirtymäkaudella. (Droneinfo 2021)

Eriyinen-kategoriaan kuuluvan toimijan on haettava erillinen toimintalupa Liikenne- ja viestintävirastolta. Toimija voi saada luvan myös EASAn julkiaseman vakioskenaarion mukaan ilmoituksella. Lupaa varten toimijan on tehtävä riskiarviointi toiminnasta. Eriyinen-kategoriaan kuuluvat lennätykset, joissa lennätys tapahtuu lennättäjän näkökentän ulkopuolella.

Sertifioidun kategorian lennätyslupaa ei ole tällä hetkellä mahdollista saada, koska standardeja ei ole vielä julkaistu. Sertifioituun lennätykseen liittyy ihmisjoukkojen päällä tapahtuva lennätys, ihmisten kuljetus ja vaarallisten aineiden kuljetus. (Droneinfo 2021.)

Ramboll Finland Oy:llä on noin 20 kopteria, joista suurin osa kuuluu avoimen kategorian A2-luokkaan. Edellä mainittua lisäteoriakokeesta ei ole vielä tullut ohjeistusta Traficomilta. A2-kategorian mukainen lennättäminen on mahdollista 31.12.2021 asti ilman lisäteoriakoetta. Lennätyksen maksimikorkeus on 120 metriä. Lentorajoitettuja alueita voi tarkastella aviamaps.com-sivustolla. (Mustaniemi 2021.)

2.4 Liikenneviraston ohjeistukset

Liikennevirasto on laatinut tie- ja ratahankkeiden lähtötietojen hankintaa varten mittausohjeen. Nykyinen ohjeistus on vuodelta 2017. Ohjeessa on käsitelty sekä mittausperustan että maastomallimittauksen mittausten toteuttaminen ja laadunvarmistus.

2.4.1 Mittausperustan tarkkuusvaatimukset ja ohjeistus

Mittausperustan pisteiden on katettava koko hankealue siten, että uloimmat pisteet ovat alueen ulkopuolella. Pisteiden tarkkuusvaatimus määritellään suhteellisenä tarkkuutena, joka lasketaan pistevirheen suhteessa etäisyyteen saman luokan naapuripisteeseen ja ilmoitetaan ppm-lukuna (parts per million). Tarkkuusvaatimukset on kuvattu kuvassa 2.

Taso:	
Peruspisteet	10 ppm
Käyttöpisteet	20 ppm (alle 200 m pisteväli, keskivirhe enintään 4 mm)
Apupisteet, tukipisteet	50 ppm
Korkeus:	
Perus- ja käyttöpisteet	10 ppm (alle 200 m pisteväli, keskivirhe enintään 2 mm)
Apupisteet, tukipisteet	50 ppm

Kuva 2. Pisteiden tarkkuusvaatimus. (Liikennevirasto 2017)

Runkoverkon peruspisteet mitataan staattisena GNSS-mittauksena kaksitaajuus-vastaanottimilla. Peruspisteiden ja käyttöpisteiden korkeuden mittaus tehdään jonoaaituksena ja lähtöpisteinä käytetään vähintään kahta korkeuskiintopistettä. Mittausperustan tasoituslaskenta tehdään pienimmän neliösumman virheyhtälötasoituksena. (Liikennevirasto 2017.)

2.4.2 Maastomallimittauksen ohjeistus ja tarkkuusvaatimukset

Tarkan maastomalliin mitattavat kohteet ja niiden luokittelu on esitetty Tie- ja rautahankkeiden maastotiedot -mittausohjeen liitteessä. Liitteessä määritellään koordisto, hyväksytty mittaustapa, pintatunnus, keskivirheet, mittausepä-tarkkuuden ylärajan AQL 4 -luku sekä kohteen topologia. Kokonaisuudessaan liite on 125 sivua pitkä, joten tähän työhön on liitetty rajattu kuvankaappaus esimerkinomaisesti. Kuvankaappaus esitetty kuvassa 3.

KOODI T3	SELITE	MITTAUSTAPA stgnss=staat.GNSS v=vaaitus t=takymetri als=laser (lento) fot=fotogr.mitt. mls=ajon.laser tls=maalaser rgnss=reaali- aikainen GNSS	Pintatunnus T1	KESKIVIRHE XYZ	KESKIVIRHE XY	KESKIVIRHE Z	YLÄRAJA (AQL 4)	TOPOLOGIAT piste=p viiva=v sulkeutuva viiva =sv 3D-viiva = 3dv
132	Tukimuurin alareuna	mls/tls/t	1		50	100	100/200	v
133	Tukimuurin yläreuna (rakenteen muoto tarvittaessa 3D - viivoina)	mls/tls/t	1/9		50	100	100/200	v/3dv
140	Ojan reuna	als/fot/mls/tls/t/rgnss	1		50	100 (200)	100/200 (400)	v
141	Ojanpohja	als/mls/tls/t/rgnss	1		50	100	100/200	v
144	Lähde	als/fot/mls/tls/t/rgnss	9		50	100	100/200	p/sv
146	Joen reuna (törmän yläreuna)	als/fot/mls/tls/t/rgnss	1		50	100 (200)	100/200 (400)	v
147	Rantaviiva	als/fot/mls/tls/t/rgnss	9			100	200	v
148	Vesipinta	als/fot/mls/tls/t/rgnss	9			100	200	p
150	Luiskan alareuna (myös kasat, pinta 9)	als/fot/mls/tls/t	1		50	100 (200)	100/200 (400)	v
151	Luiskan yläreuna (myös kasat, pinta 9)	als/fot/mls/tls/t	1		50	100 (200)	100/200 (400)	v
157	Rakenneluiskan reuna (Infrabim)		1					v
190	Avokallion hajapiste / - viiva	als/fot/mls/tls/t/rgnss	2			100 (200)	200 (400)	p/v
191	Avokallion rajaus	t/rgnss (xy), l (z)	2		200	100	400/200	sv/v

Kuva 3. Ote tarkan maastomallin koodiluettelosta. (Liikennevirasto 2017)

Fotogrammetrista mittausta käytettäessä maksimikuvauskorkeus saa olla 800 metriä ja kuvauksen maastoresoluutio oltava vähintään 5 senttimetriä. Mittaus on tehtävä keväällä, kun maastonpeittoisuus on mahdollisimman vähäistä. (Liikennevirasto 2017.)

2.4.3 Tien rakennussuunnitelman ohjeistus

Maanteiden rakennussuunnittelussa tulee noudattaa Liikenneviraston Tien rakennussuunnitelma – Toimintaohjeet -ohjeistusta. Nykyinen ohjeistus on vuodelta 2014. Ohjeissa käydään läpi muun muassa lähtötietojen hankinta ja analysointi, tien suuntauksen, poikkileikkausten, liittymien, valaistuksen ja siltojen suunnittelua.

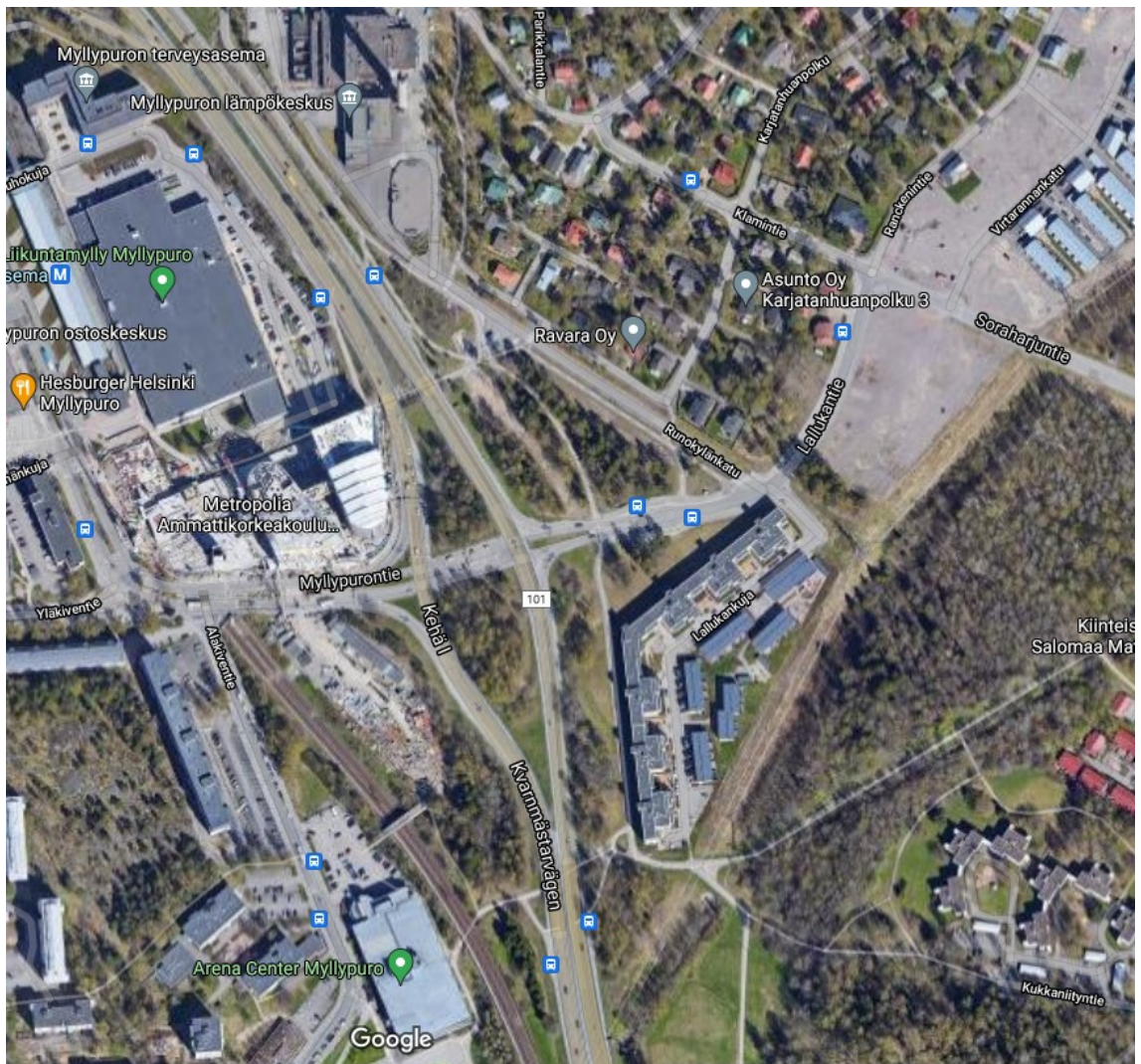
Lähtötietojen hankintaa käsitellään kohdassa RS30 Lähtötietojen hankinta ja analysointi. Tiesuunnitelmavaiheessa kerätyt lähtötiedot tulee tarkistaa ja tehdä täydentävät maastomittaukset ja pohjatutkimukset. Tarkistettava on myös muun

muassa maanomistajatiedot, asemakaavatilanne sekä suunnittelualueen johtaja- ja laitetiedot. Lähtöaineistot tulee tallentaa sähköisessä muodossa suunnitteluaineistoon. (Liikennevirasto 2013)

3 MYLLYPURON ERITASOLIITTYMÄN RAKENNUSSUUNNITELMA

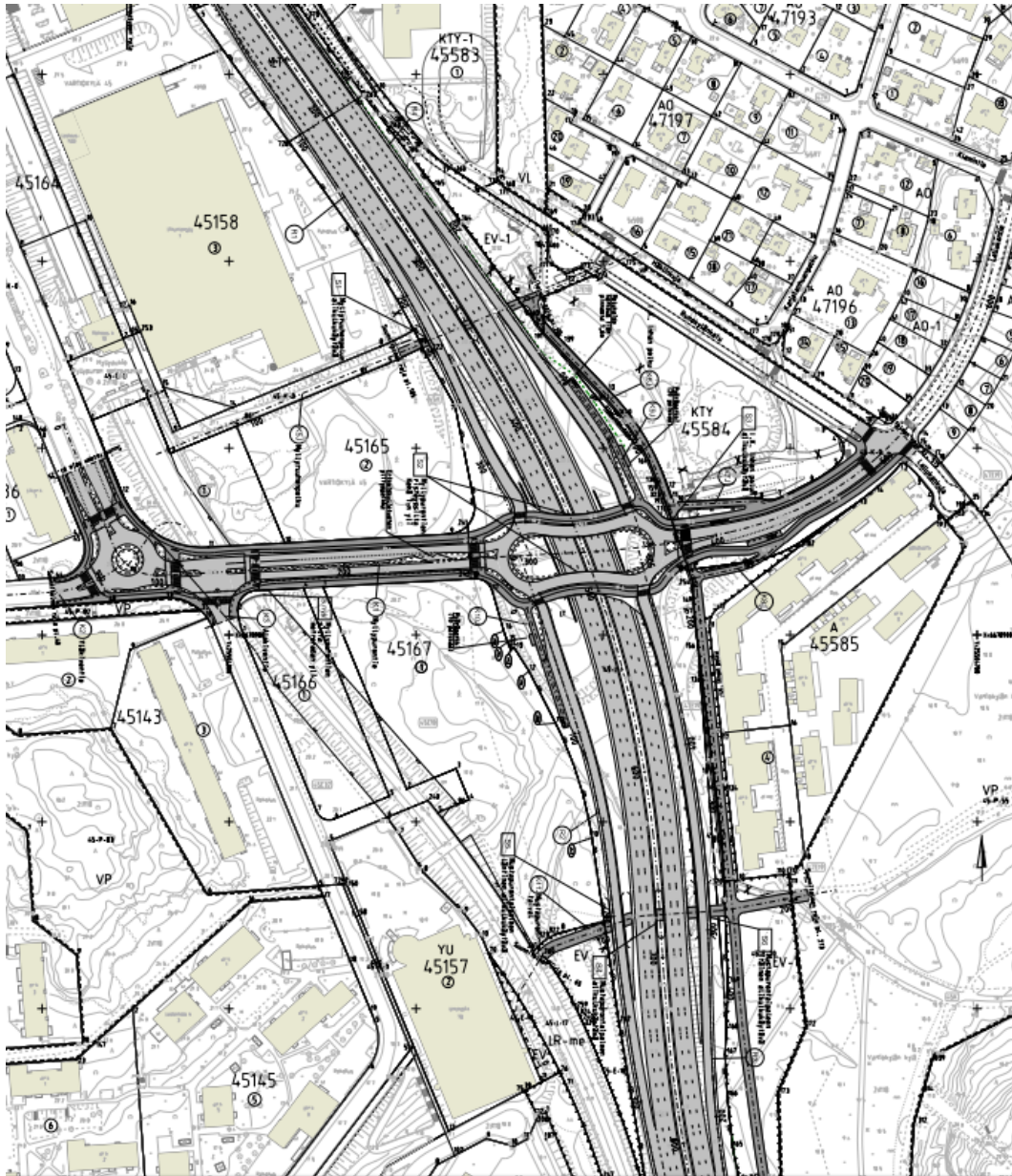
3.1 Referenssityön esittely

Referenssityönä käytetään Myllypuron eritasoliittymän rakennussuunnitelma-projektia. Rakennussuunnitelmassa tarkastetaan vuonna 2014 valmistunut Pöyryn tiesuunnitelma ja toteutettavuus. Tässä opinnäytetyössä keskitytään vain lähitietoina käytettävien mittausten toteutukseen eikä oteta kantaa varsinaiseen rakennussuunnitelman tekoon. Mitattavan alueen laajuus on noin 15 hehtaaria. Tällä hetkellä Helsingin Kehä I:n Myllypuron liittymän on tasoliittymä. Nykytilanne on kuvattuna kuvassa 4.



Kuva 4. Nykytilanne. (Google maps 2021.)

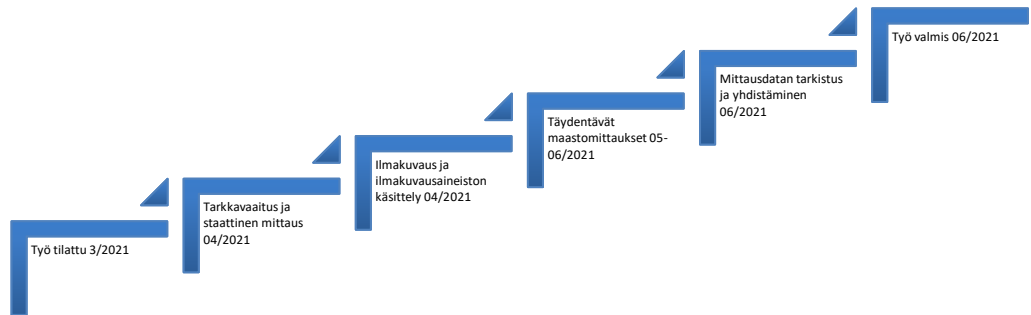
Liittymä on tarkoitus muuntaa eritasoliittymäksi tiesuunnitelman mukaisesti. Ramboll Finland Oy vastaa kaikista lähtötietoihin tarvittavista mittauksista. Käytettävä koordinaatisto on ETRS-GK25 ja korkeusjärjestelmä N2000. Mittausdata tallennetaan gt-formaattiin. Tiesuunnitelma on Pöyryn suunnittelema ja kuvattu alla kuvassa 5.



Kuva 5. Ote tiesuunnitelmasta. (Pöyry 2014.)

3.2 Mittaustyön vaiheet

Maastomittaukset alkoivat alueella 12.4.2021. Mittaukset alkoivat lähtöpisteiden tarkkavaaituksena ja runkoverkon staattisena mittauksena. Tämän jälkeen alue Drone-kuvattiin ja kuvauksen käsittelyn jälkeen mitattiin täydentävät takymetri-mittaukset. Työaikataulu on kuvattu kuvassa 6.



Kuva 6. Mittausaikataulu.

3.2.1 Tarkkavaaitus

Lähtöpisteille vaaittiin korko tarkkavaaituksena kolmena jonona. Vaaittavia pisteitä oli yhteensä 14 kappaletta, joista 5 kappaletta oli korkeuskiintopisteitä, 5 kappaletta tasokiintopisteitä ja 4 kappaletta uusia gps-pisteitä. Taso- ja korkeuskiintopistedatat saatiin Helsingin kaupungin kaupunkimittausosastolta. Vaaituksesta saadut dat-tiedostot tasoitettiin Trimble business center -ohjelmistolla. Vaaitut jonot näkyvät kuvassa 7. Vaaitut jonot on aloitettu ja suljettu Helsingin kaupungin kiintopisteisiin. (Turkki 2021.)



Kuva 7. Tarkkavaaitus jonot.

3.2.2 Runkoverkon mittaus

Vaaituksen jälkeen uusille gps-pisteille (gps1–4) mitattiin sijainnit staattisella mittauksella. Tukipisteinä käytettiin Trimnetin Helsingin tukiasemaa (Siilitie), Geotrimin Vantaan tukipistettä sekä Helsingin kaupungin kiintopiste 34 (Vuosaarissa). Referenssipisteenä käytettiin pistettä 3232K5. Mittaukset tehtiin kolmena sessiona. Kuvassa 8 on esitetty tukiasemien sijainti suhteessa uusiin pisteisiin. Karttakuvasta näkee, että uudet pisteet jäävät tukiasemien muodostaman verkon sisälle.



Kuva 8. Tukiasemien sijainnit.

Kuvassa 9 on esitetty mittauksiin käytetyt ajat. Staattinen mittaus suoritettiin kolmena tunnin mittaisena sessiona. Tänä aikana tukipisteille ja uusille GPS-pisteille asemoidut vastaanottimet mittasivat samanaikaisesti, ja näistä havainnoista laskettiin uusille GPS-pisteille tasokoordinaatit.

14.4.2021	GPS1	GPS2	GPS3	GPS4	34	3232K5			
Sessio 1	11:00	11:20	11:11	11:15	10:55	11:11		11:20	10:55
	12:32	12:32	12:23	12:28	12:23	12:22		12:22	12:15 -7 min
Sessio2	12:34	12:34	12:25	12:29	12:28	12:24		12:34	12:15
	13:35	13:51	13:45	13:34	13:36	13:36		13:34	13:30 -4 min
Sessio 3	13:38	13:53	13:47	13:47	13:37	13:40		13:53	13:30
	15:04	15:11	14:53	15:05	14:53	14:54		14:53	14:50 -3 min

Kuva 9. Staattisten mittaussessioiden mittausajat.

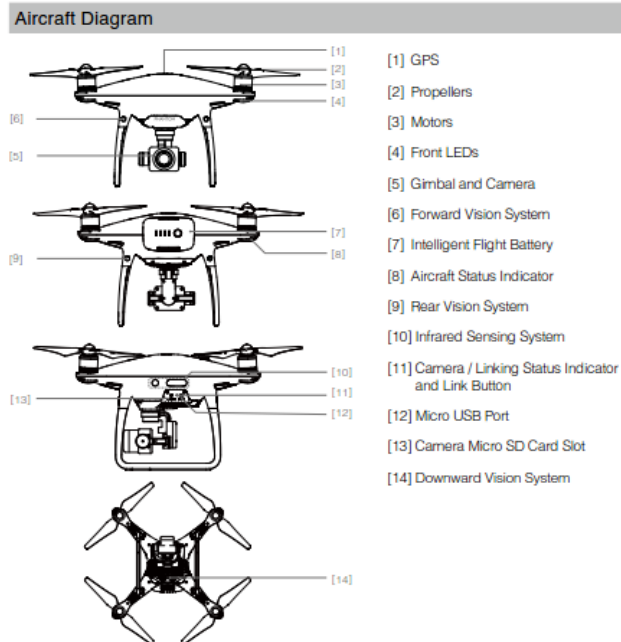
Tulokset tasoitettiin Trimble business center -ohjelmalla. X- ja Y-tasossa virhe oli muutaman millimetrin ja korkeudessa 5–7 millimetriä, joten mittaukset ovat onnistuneet ja tulokset käyttökelpoisia. Tasoitetuista tuloksista on esitetty taulukko 1. (Turkki 2021.)

Taulukko 1. Tasoitetut karttakoordinaatit.

Tasoitetut karttakoordinaatit						
Pisteen ID	Itäkoordinaatti	Itäkoordinaatti Virhe	Pohjoiskoordinaatti	Pohjoiskoordinaatti Virhe	Korkeus	Korkeus Virhe
	(Metri)	(Metri)	(Metri)	(Metri)	(Metri)	(Metri)
3232K5	25504439,679	0,001	6679105,055	0,002	25,421	0,005
GPS1	25504619,488	0,001	6678322,365	0,002	11,979	0,006
GPS2	25504541,904	0,002	6678704,905	0,004	12,212	0,007
GPS3	25504223,300	0,002	6678926,152	0,004	27,988	0,007
GPS4	25504661,860	0,002	6678992,266	0,004	17,362	0,006
Hels	25502988,294	?	6677710,873	?	19,899	0,006
Vant	25498143,833	?	6686989,690	?	51,434	0,007
34	25508963,800	?	6677685,669	?	19,042	0,007

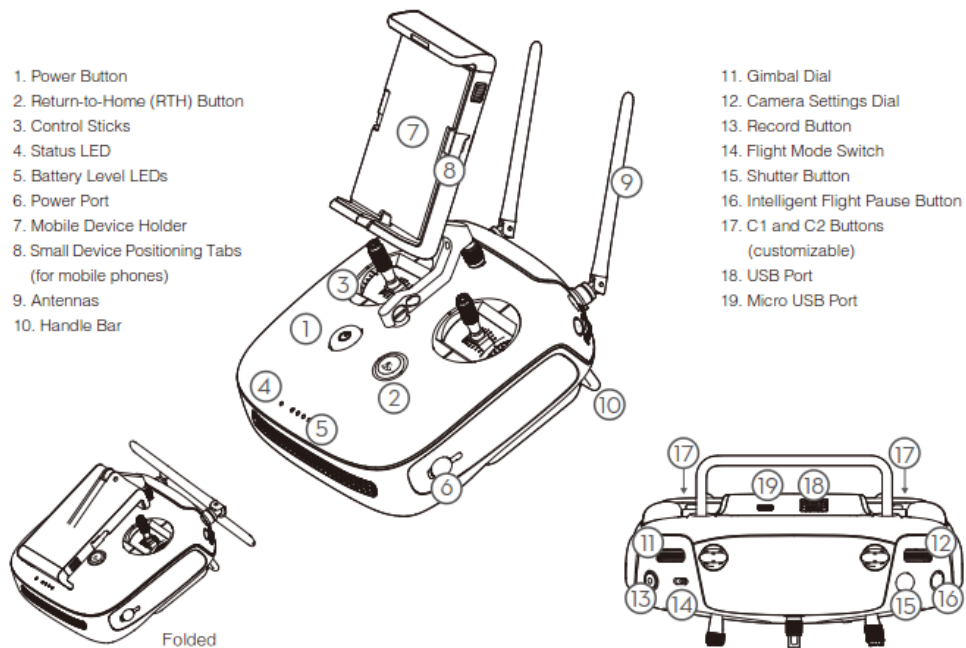
3.2.3 Drone-keilaus

Drone-keilaus suoritettiin 16.4.2021 Phantom 4 Pro V2.0 -kopterilla. Kopterissa on neljä propellia, ja sen paino on 1 375 grammaa. Kuvassa 10 on projektissa käytetyn dronen sivu- ja alaprofiilit.



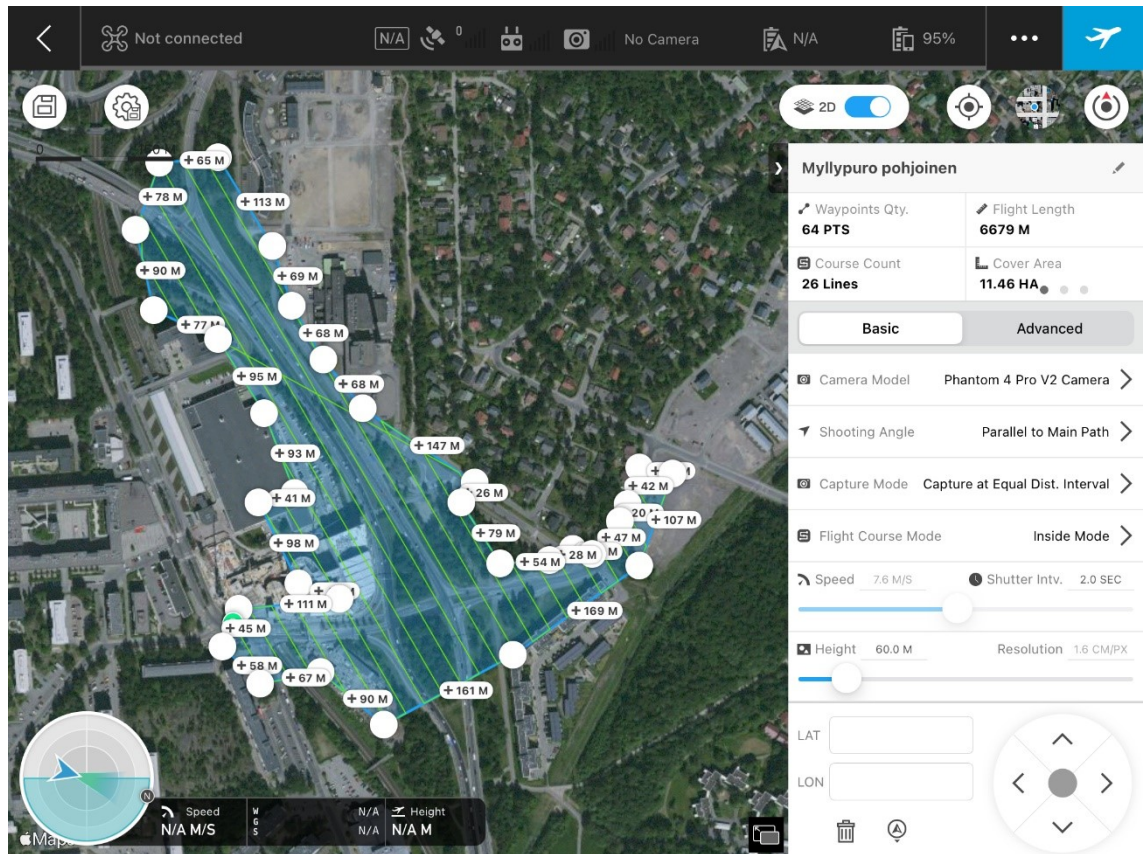
Kuva 10. Phantom 4 Pro V2.0 -kopterin varustus. (DJI 2020)

Kopteria hallinnoidaan kauko-ohjaimella. Ohjaimen liitetään mobiililaitte, johon on ladattu DJI GO 4 App. App-sovelluksen avulla lentosuunnitelma linkitetään kopteriin. Kauko-ohjaimen rakenne on kuvattuna kuvassa 11. (DJI 2020)

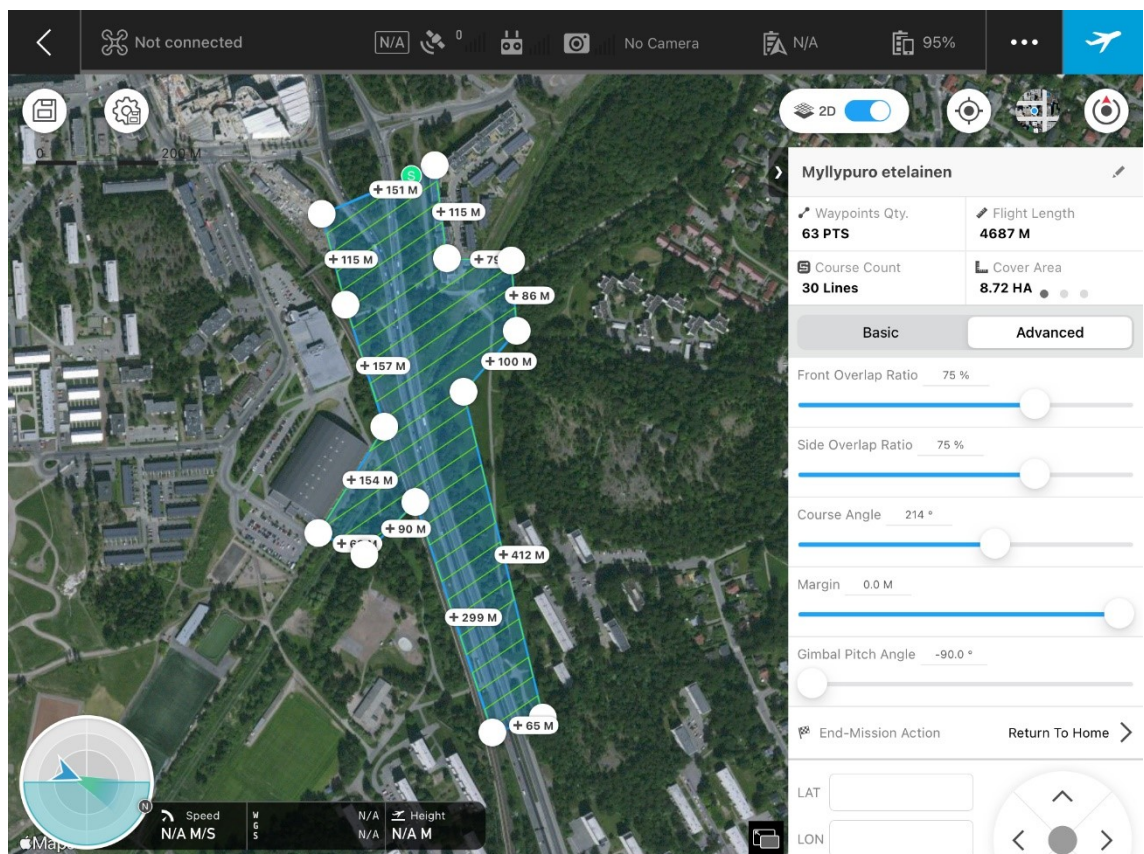


Kuva 11. Kopterin kauko-ohjain. (DJI 2020)

Lentosuunnitelma tehtiin DroneDeploy-ohjelmalla. Ohjelmalla voi säätää asetuksia esimerkiksi lentoradoille, kuvapeitolle, lentokorkeudelle. Ohjelma ilmoittaa lentämiseen kuluvan ajan ja saatavien kuvien lukumäärän. Lentosuunnitelma ladataan kopteriin WGS84-koordinaatistossa. Myllypuron alue lennettiin kahdessa osassa. Kuvat 12 ja 13 esittävät lentosuunnitelman. Kuvissa näkyvät ohjelmoinninäkymän eri välilehdet. (Lammin-Soila 2021)

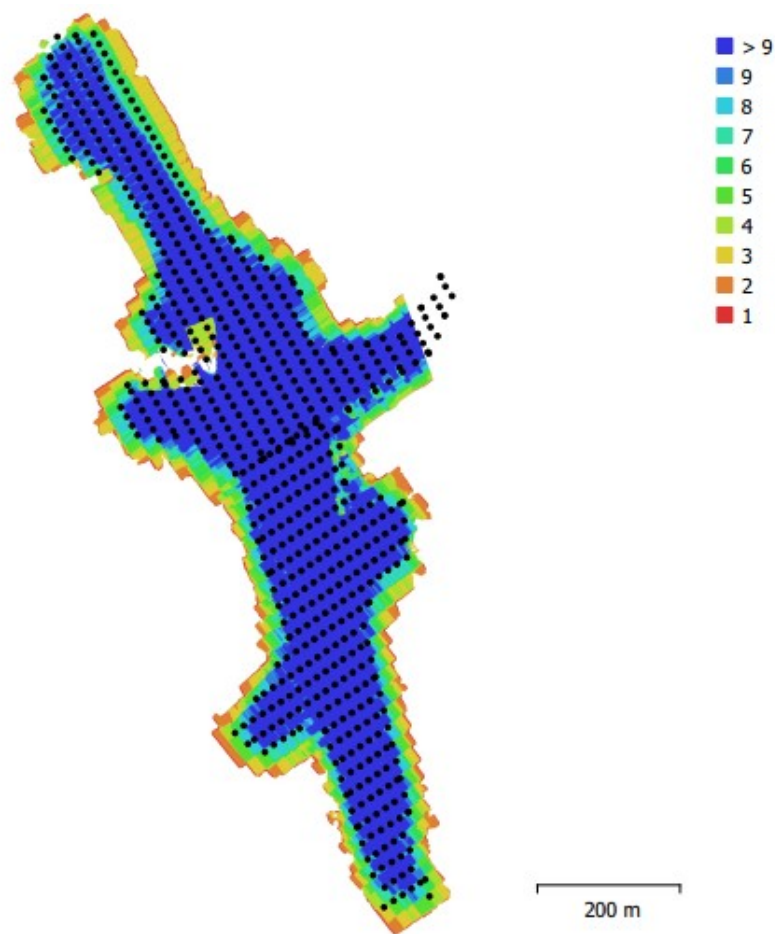


Kuva 12. Lentosuunnitelma pohjoisosa.



Kuva 13. Lentosuunnitelma eteläosa.

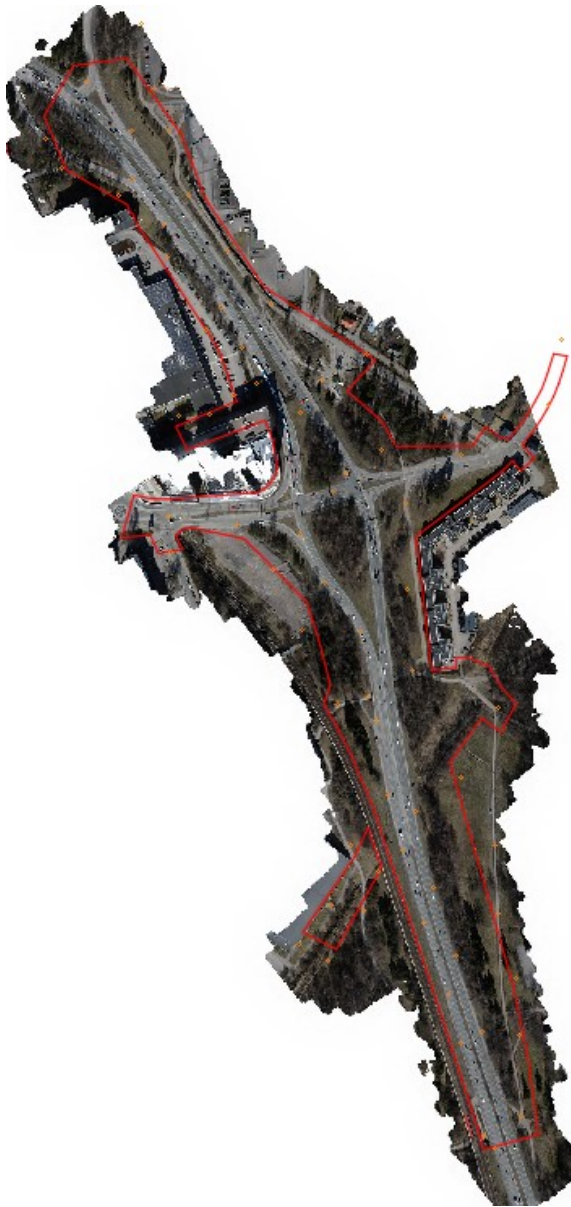
Kopteri kuvasi alueelta 653 kuvaa. Lentokorkeus oli 60.5 metriä. Kuvien GSD-arvo (maastoresoluutio) oli 1,54 cm/pix. Kuvat yhdistettiin referenssipisteisiin Agisoft-ohjelmistolla. Ohjelmasta saa tulostettua prosessiraportin, jossa näkyvät muun muassa kameran sijainnit, kontrollipisteiden sijainnit ja esiintyvyyt sekä kaikki prosessoinnin parametrit. Kuvien tarkkuuden ja käytettävyyden kannalta on tärkeää, että kuvien päällekkäisyys on riittävää. Kuvassa 14 näkee, että kuvien päällekkäisyys on suurimmalta osin vähintään 9 kuvaa/referenssipiste.



Kuva 14. Agisoft-ohjelman prosessiraportti, jossa näkyy kuvien päällekkäisyys.

Agisoft tuottaa myös luokittelemattoman pistepilviaineiston. Pistepilviaineisto luokiteltiin Microsoftin Terrascan -ohjelmalla. Ohjelma hakee maanpinnan pisteet pistetiheyden mukaan ja maanpinnan yläpuolella olevat tasot korkeusparametrien mukaan. Pistepilvestä poistetaan selvät virhepisteet ja maanpinnan alle jäävät pisteet. Samalla maanpintapisteistä luokitellaan vielä harvennettu maanpintapisteistö, jota on kevyempi käyttää mallinuksissa.

Agisoft-ohjelmalla tuotettu tif-kuva muunnetaan esimerkiksi Fme-ohjelmalla pakattuun ecw-formaattiin, jolloin se on helpompi avata esimerkiksi Autocad- tai 3Dwin-ohjelmilla. Kuvassa 15 on valmis ecw-kuva avattuna Autocad-ohjelmalla. (Kämäräinen 2021.)



Kuva 15. Mittausalue kuvien yhdistämisen jälkeen ecw-formaatissa, mukana mitausalue ja oranssit signaalipisteet.

3.2.4 Maastomittaukset

Liikenneviraston maastotietojen mittausohjeistuksen mukaan kaikkia maaston kohteita ei voi/saa mitata kuvasta. Näitä kohteita ovat esimerkiksi reunakiveykset, tukimuurit, ojanpohjat, rakennusten seinälinjat sekä siltojen ja rautateiden rakenteet. Lisäksi kuviin usein jää varjokohtia ja peitteisiä alueita, joilta mittaustulos ei ole tarkkaa. Nämä kohteet pitää mitata takymetri/gnss-laitteilla. Tässä työssä oli myös kohteen itäpuolelta jäänyt kokonaan alue kuvauksen ulkopuolelle, joten tämä alue mitattiin kokonaisuudessaan takymetrilla.

Maastomittauksia tehtiin useana päivänä. Mittauksista tulostettiin mittausraportit ja datat tallennettiin projektikansioon jatkokäsittelyä varten. Takymetri-mitatun ja fotogrammetrisen mittauksen välisiä korkoeroja käsitellään kohdassa Aineiston vertailu.

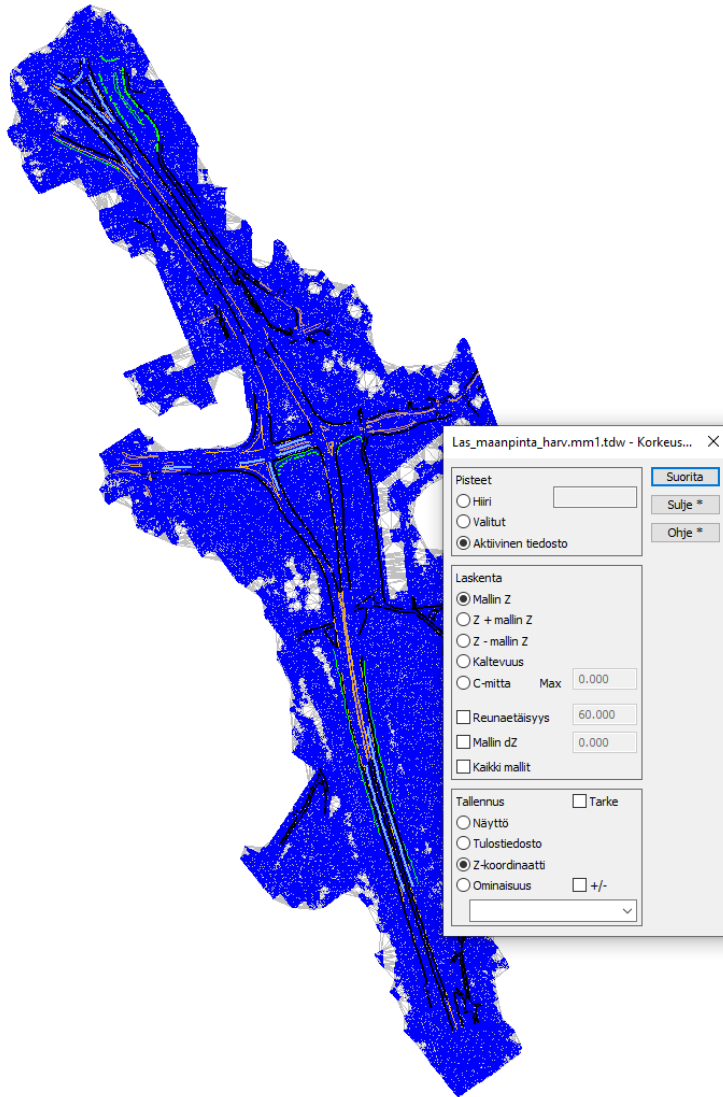
3.3 Mittausdatan käsittely ja yhdistäminen

Mittausdatan käsittelylle on monia eri tapoja. Tämä projekti aloitettiin drone-keilauksesta saadulla ecw-kuvan tarkastelulla Autocad-ohjelmistolla. Kuvasta näkyi selvästi muun muassa teiden maaliviivat, suurin osa asfaltin reunoista, tien keskilinjat ja suojateiden kohdat. Myös joitain luiskien reunoja pystyi piirtämään käyttämällä pisteaineistosta tehtyä korkeuskäyräviivastoa. Viivat piirrettiin suoraan oikeille liikenneviraston määrittelemille kooditasoille (esim. Maaliviiva = 292). Kuvassa 16 näkyy ilmakuvasta digitoidut viivat. Kuvasta näkyi myös selkeästi kohdat, joissa tarkempaa mittausta tarvitaan. Näitä ovat esimerkiksi puiden oksien taakse jäävät asfaltin reunat.



Kuva 16. Kuvalta digitoidut viivat (taustalla ecw-kuva ja mittausaluerajaus).

Digitoidut viivat poimittiin omaksi tiedostoksi ja avattiin 3D-win-ohjelmaan. Samaan ohjelmaan avattiin myös Terrascan-ohjelmalla tuotettu maanpintapisteistö, joka kolmioitiin Maastomalli-työkalulla. Mallin avulla saatiin korkeus digitoiduille nollakorossa oleville viivoille. Kuvassa 17 on havainnollistettu digitoitujen viivojen ja maanpintakolmioverkon käyttöä korkeuden määrittämisessä digitoiduille viivoille.



Kuva 17. Korkeuden määrittäminen viivoille kolmioidusta mallista 3D-win-ohjelmalla.

Korkeuden määrittämisen jälkeen määritettiin kohteille pintanumerointi. Suurin osa pisteistä oli maapinnan kohteita (pinta = 1). Lisäksi pisteille saa editoitua juoksevat piste- ja viivanumeroinnit, minkä jälkeen tiedoston voi tallentaa gt-formaattiin.

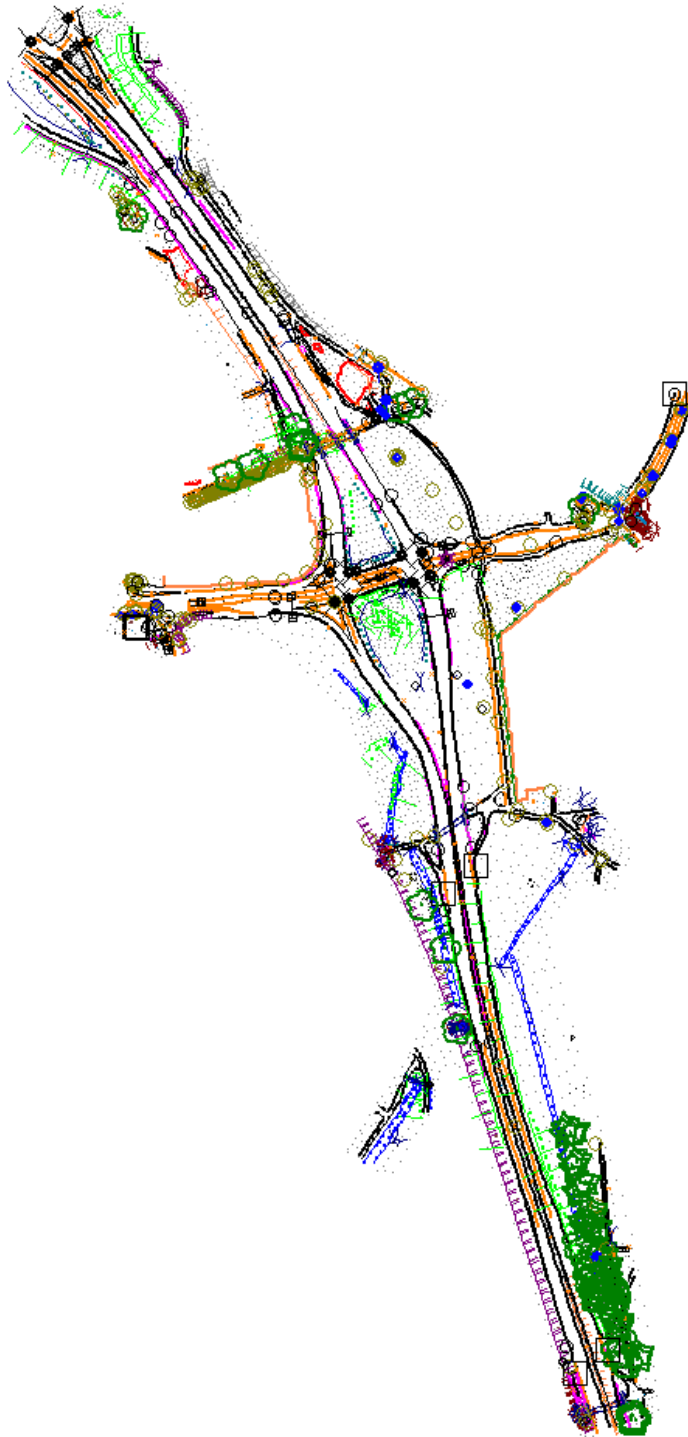
Maastossa mitatut tiedostot tarkistettiin ja mahdolliset virheet korjattiin. Maastomittaukset olivat valmiiksi gt-formaatissa. Nämä tiedostot tallennettiin yhdeksi yhdistelmä-tiedostoksi, josta on kuva 18.



Kuva 18. Takymetrilla mitatut täydentävät alueet.

Maastomittausdata liitettiin drone-aineistosta poimittuun gt-tiedostoon. Koko yhdistelmädata vielä tarkistettiin ja korjattiin esiintyneet virheet. Maapinnan hajakorjoja kerättiin drone-pistepilviaineistosta täydentämään kartoitusta. Valmis yhdistelmä maastomalli näkyy kuvassa 19. Valmis malli kannattaa kolmioida ja ottaa tiheät korkeuskäyrät, jotta pinnan mahdolliset virheet huomaa helpommin. Valmis

maastomallidata tallennettiin gt-formaattiin ja data tallennettiin suunnittelijoiden toivomaan paikkaan.

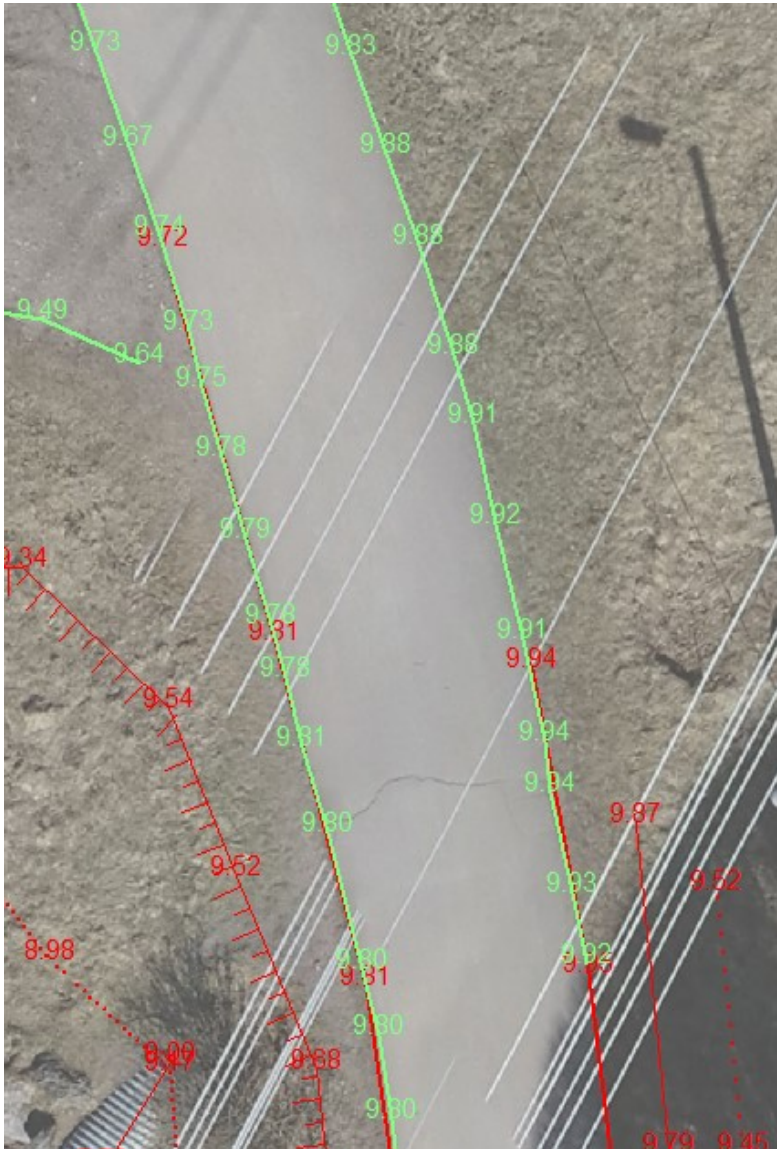


Kuva 19. Valmis yhdistelmä karttoitus alueelta 3D-win-ohjelmalla esitettynä.

3.4 Aineiston vertailu

Tässä luvussa tarkastellaan mitatun ja kuvatun mallin korkeuseroja. Tarkasteluun on valittu yksittäisiä kohtia mittausalueelta. Tarkastelussa on selkeä tienreunakohta, ojanpohja ja varjoinen alue.

Aineistoa tutkiessa huomaa, että peitteettömillä, valoisilla alueilla kuvasta digitoidujen viivojen tarkkuus (vihreällä) vastaa riittävästi takymetreilla mitattua dataa (punaisella). Korkeudessa ero on 1–3 senttimetriä. Tasossa eroa on 1–5 senttimetriä. Kuvassa 20 on kuvattu digitoidun ja maastomitatun aineiston korko- ja sijaintieroja.



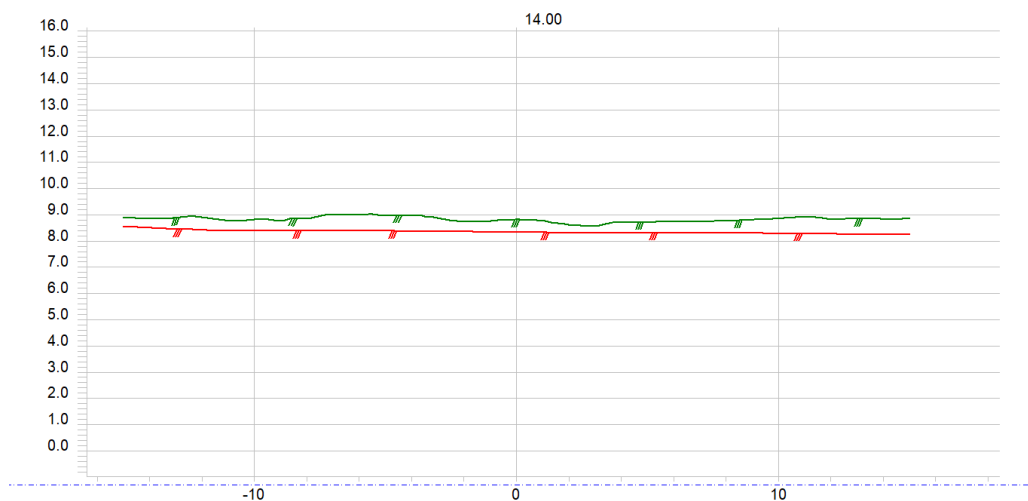
Kuva 20. Tienreunan korkojen vertailu mitatun ja kuvatun välillä.

Liikennelaitoksen ohjeen mukaan esimerkiksi ojan pohjia ei voi mitata kovalta. Lisäksi tässä tarkasteltu oja on melko peitteisellä alueella. Kuvassa 21 näkyy ojan pohja, josta leikkauskuva on otettu.



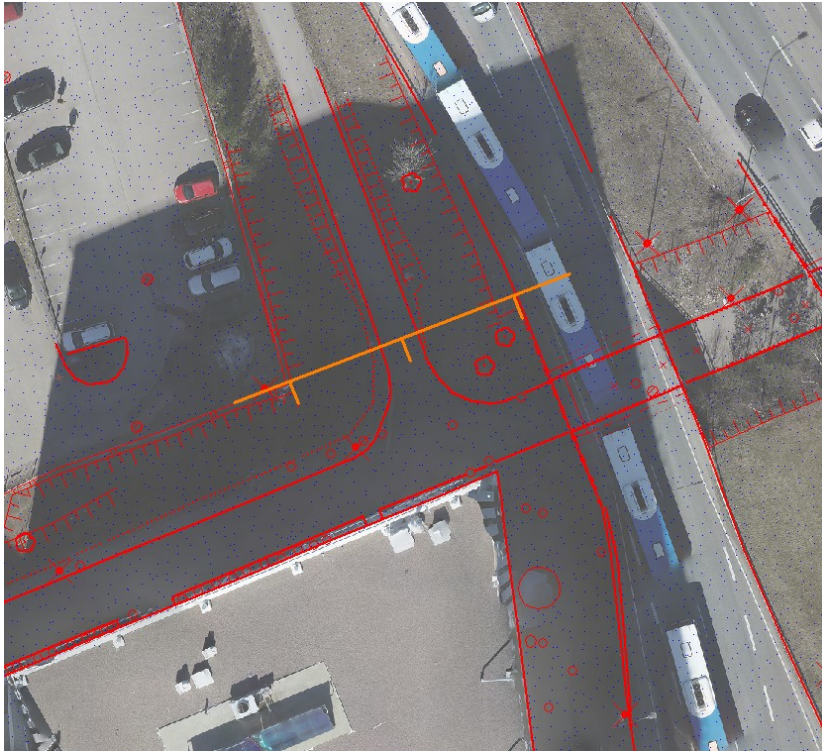
Kuva 21. Ojan leikkauslinjan kohta.

Alla olevasta kuvan 22 poikkileikkauksesta näkee, että ojanpohjan kohdalla drone-mallin (vihreä) ja takymetrillä (punainen) mitatun mallin ero on paikoin yli 0,5 metriä. Tämä ero on liikaa Liikenneviraston tarkkuusvaatimukseen nähden.

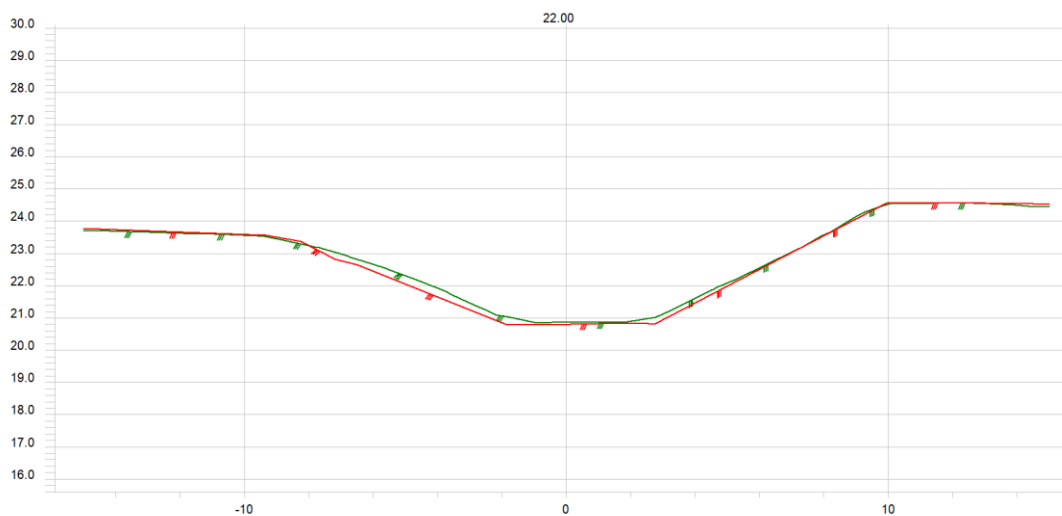


Kuva 22. Poikkileikkaus ojanpohjan korkoerosta.

Myös peitteisiltä/varjoisilta alueilta mittausdata on usein epätarkkaa. Alla tarkastellussa kohdassa erot eivät ole niin merkittäviä kuin ojanpohjan mittauksissa, mutta eroa mallien välille tulee paikoittain yli 10 senttimetriä. Kuvassa 23 on esitetty leikkauksen paikka ja kuvassa 24 mittaustapojen ero poikkileikkauksessa.



Kuva 23. Varjopaikan leikkauslinjan kohta.



Kuva 24. Poikkileikkaus varjoiselta paikalta. (Drone = vihreä, Taky = punainen)

4 POHDINTA

Tarkkuusvaatimukset täyttävän maastomallin drone-kuvauksen tekemisen kannattavuus riippuu mitattavasta kohteesta. Laajat peitteiset alueet eivät sovellu fotogrammetriseen mittaukseen. Jos alueella on runsaasti tarkempaa mittausta vaativia kohteita, on syytä miettiä drone-kuvauksen hyödyllisyyttä. Varsinkin pienemmillä alueilla mittamiehille on varmasti helpompi mitata alueen täydellinen maastomalli kuin miettiä, voiko esimerkiksi osalta alueelta jättää maaliviivat tai muut yksittäiset kohteet mittaamatta. Onnistunut mittaus edellyttää valoisaa puolipilvistä kevätpäivää. Kevätaika on kiireistä mittausaikaa, ja projektille pitää varata aikaa sekä lennättäjille että datan käsittelijöille, jos sama ihminen ei hoida kaikkia osa-alueita.

Lennätyksessä on saatava tarpeeksi laadukkaita kuvia, joiden kuvapeitto on tarpeeksi kattava. Lentoalueeseen tulee tutustua etukäteen. Esimerkiksi ilmakuvista voi havaita alueella sijaitsevia esteitä ja muita lentoa rajoittavia tekijöitä. Tutustuttaessa alueeseen maastossa voi samalla tarkastaa, ovatko aiotut lähtökiintopisteet vielä olemassa ja käytettävissä. Lennon suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös tarvittava laitteisto. Varapropelleja tulisi olla aina mukana, ja myös akkujen määrään tulee kiinnittää huomiota. Jos lennätys tapahtuu lentoasemien lähistöllä tai muuten valvotussa ilmatilassa, on lennättäjän pyydettävä toimilleen lupa. Lentoasemien ja valvottujen ilmatilojen läheisyydessä lennättäminen luvatta on vaarallista ja kielletty. Esimerkiksi lentokentän tai helikopterikentän toiminta voi häiriintyä tai jopa keskeytyä luvattoman kopterin lennätyksen takia. Poikkeuslupia ja ilmatilavarauksia voi hakea Droneinfo.fi-sivuilta. Luvat ovat maksullisia, ja esimerkiksi ilmatilavaraukset tulee lähettää Traficomille hyvissä ajoin ennen aiottua toimintaa.

Tässä opinnäytetyössä käytetyssä referenssityössä drone-kuvauksesta oli hyötyä. Mittamiesten ei tarvinnut mitata vilkkaasti liikennöidyllä Kehä I:llä kuin muutamassa kohdassa. Tämä lisää mittamiesten työturvallisuutta huomattavasti. Työssä oli drone-kuvattu hyvin erottuvaa maantielinjaa, josta oli helppo poimia kartoituskohteita. Mittausalue oli melko laaja, jolloin myös maanpintapisteiden

poiminen aukeilla alueilla suoraan maanpintapistepilvestä nopeutti työn valmistumista.

Täydennysmittausten oheistaminen vaatii tarkkuutta, jotta kaikki peitteiset/tarkkuutta vaativat kohteet tulisi mitattua. Ecw-kuvasta näkyi kuitenkin selkeästi, missä päin aluetta esimerkiksi esiintyi reunakivellistä tienreunaa.

UAV-mittaus on perinteistä takymetri-/gps-mittausta huomattavasti nopeampaa. Referenssityön alueen yli lennätys (n.15 ha) kesti alle puoli päivää ja datan käsittely valmiiksi pistepilveksi noin puolitoista työpäivää. Kohteiden digitointi ecw-kuvasta sekä maanpintapisteiden keräys pistepilviaineistosta kesti muutaman työpäivän. Jos laskennallisesti takymetrillä mitataan rakennetulla alueella noin 0,5 hehtaaria työvuorossa, koko alueen mittaus takymetrillä olisi vienyt noin 30 työvuoroa. Lisämittauksia tuli tässäkin työssä melko paljon, mutta kokonaisuittausaika maastossa jäi silti huomattavasti alle 30 työvuoron.

Lennätyksen jälkeen aikaa on varattava drone-kuvien käsittelyyn sekä lisämittausohjeistuksen laatimiseen. Drone-kuvat saa muokattua Agisoftilla yleensä yhden työpäivän aikana, ja riippuen alueen koosta myös Terrascanilla tehtävä pistepilviluokittelu onnistuu saman päivän aikana. Tässä on kuitenkin otettava huomioon mahdolliset aineiston korjaukset ja tarkistuksesta johtuvat viiveet sekä käsittelijän työjonossa olevien projektien määrä. Kun drone-kuvista on käsitelty valmis malli, kannattaa varata muutamia päiviä mallin läpikäyntiin, jotta lisämittausalueet saadaan poimittua mittaajille mahdollisimman tarkasti. Lisämittausmäärä on riippuvainen mitattavan alueen koosta ja peittoisuudesta. Myös lopullisen mallin editointiin ja yhdistämiseen kannattaa varata riittävästi aikaa.

Työn nopeamman toteutettavuuden takia UAV-mittausten käyttö myös siihen sopimattomissa kohteissa voi houkutella. On kuitenkin muistettava, että mittaus-tarkkuus peitteisillä alueilla huononee nopeasti ja kaikkia kohteita ei saa mitata kuvalta Liikenneviraston ohjeistuksen mukaan.

LÄHTEET

DJI 2020. Phantom 4. User Manual. Viitattu 27.7.2021
https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_pro/20200108/Phantom_4_Pro_Pro_Plus_Series_User_Manual_EN.pdf.

Droneinfo 2021. EU:n dronesäännöt. Viitattu 25.8.2021
<https://www.droneinfo.fi/fi/eun-dronesaannot..>

Lammin-Soila, M. 2021. Ramboll Finland Oy. Mittaustyön esimiehen haastattelu. 25.8.2021.

Liikennevirasto 2013. Tien rakennussuunnitelma. Viitattu 21.4.2021 https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2013-45_tien_rakennussuunnitelma_web.pdf.

Liikennevirasto 2017. Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot. Viitattu 21.4.2021
https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-18_maastotiedot_mittausohje_web.pdf.

Kämäräinen, H-P. 2021. Ramboll Finland Oy. Projektipäällikön haastattelu. 5.8.2021.

Mustaniemi, A. 2021. Ramboll Finland Oy. Osastopäällikön haastattelu. 25.8.2021.

Pöyry 2014. Maantien 101 (Kehä I), Myllypuron eritasoliittymän rakentaminen, Helsinki. Tiesuunnitelma.

Rakennustieto 2018. Fotogrammetrian käyttö rakennushankkeissa. Viitattu.23.4.2021 <https://docplayer.fi/105866333-Fotogrammetrian-kaytto-rakennushankkeissa.html>.

Ramboll Finland. Viitattu 3.8.2021 https://fi.ramboll.com/ramboll_finland_oy.

Turkki, H. 2021. Ramboll Finland Oy. Yksikön päällikön haastattelu. 18.8.2021.

<https://www.google.fi/maps>. Viitattu 18.4.2021.